

**APROXIMACIÓN CONCEPTUAL APLICADA  
DE PROGRAMA INFORMÁTICO RCM**

**LUIS FERNANDO MOLINA OCHOA  
ESTUDIANTE MAESTRÍA EN INGENIERÍA  
ÉNFASIS MANTENIMIENTO  
CÓDIGO 201519018114**

**UNIVERSIDAD EAFIT  
ESCUELA DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA  
MEDELLÍN – COLOMBIA**

**2017**



**APROXIMACIÓN CONCEPTUAL APLICADA  
DE PROGRAMA INFORMÁTICO RCM**

**LUIS FERNANDO MOLINA OCHOA**

**DIRECTOR DE PROYECTO**

**ING. Ph.D. LUIS ALBERTO MORA GUTIÉRREZ**

**UNIVERSIDAD EAFIT**

**ESCUELA DE INGENIERÍA**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**MEDELLÍN – COLOMBIA**

**2017**

## 1. CONTENIDO

CONTENIDO .....	4
ILUSTRACIONES .....	7
ECUACIONES .....	10
0.0 PRÓLOGO .....	11
0.1 INTRODUCCIÓN .....	11
0.2 OBJETIVO GENERAL .....	12
0.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	12
0.3.1 Uno – Fundamentos. ....	12
0.3.2 Dos – Lógica decisional RCMII. ....	12
0.3.3 Tres – Aplicación. ....	12
0.3.4 Cuatro – Tópicos relevantes. ....	13
0.3.5 Cinco – Conclusiones. ....	13
0.4 ESTRUCTURA DEL PROYECTO .....	15
0.5 ANTECEDENTES .....	15
0.6 JUSTIFICACIÓN .....	19
0.7 CONCLUSIÓN DEL CAPÍTULO 0 .....	20
1. TÁCTICA RCM.....	21
1.1 OBJETIVO 1 .....	21
1.2 EVOLUCIÓN DEL MANTENIMIENTO.....	21
1.3 EL RCM COMO TÁCTICA .....	23
1.3.1 Unidad de producción. ....	25
1.3.2 Unidad básica de mantenimiento. ....	26
1.3.3 Niveles de la gestión del mantenimiento. ....	31
1.3.4 Curva de la bañera o de Davies.....	33
1.4 RCM.....	35
1.4.1 Conceptos técnicos del RCM.....	38
1.4.2 Funciones y parámetros de funcionamiento.....	41
1.4.2.1 Fallas funcionales. ....	43
1.4.3 Modos de falla. ....	44
1.4.4 Efectos de falla. ....	48
1.4.5 Consecuencias de las fallas.....	48
1.4.6 Tareas proactivas. ....	53
1.4.7 Acciones a falta de mantenimiento .....	57
1.4.8 Etapas de la implementación del RCM. ....	58
1.4.8.1 Grupos de realización y revisión. ....	58
1.4.8.2 Facilitadores. ....	61
1.4.8.3 Resultados del RCM. ....	63
1.4.8.4 Auditoría e implementación. ....	65
1.4.8.5 Como no aplicar RCM.....	65
1.5 CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO 1 .....	66
2. LÓGICA DECISIONAL RCM II .....	67
2.1 OBJETIVO 2 .....	67



2.2	INTRODUCCIÓN .....	67
2.3	DECISIÓN LÓGICA RCM .....	67
2.3.1	Diagrama decisional de RCM II. ....	67
2.3.2	Selección de tareas en RCM. ....	69
2.3.3	Hoja de decisión RCM II. ....	76
2.4	CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO 2 .....	85
3.	IRCMS .....	86
3.1	OBJETIVO 3 .....	86
3.2	INTRODUCCION .....	86
3.3	SOFTWARE IRCMS .....	86
3.4	PASOS PARA LA IMPLEMENTACION IRCMS.....	87
3.4.1	Programa de mantenimiento preventivo básico actual. ....	87
3.4.2	RCM candidato, identificación y priorización. ....	87
3.4.3	Proceso/Filosofía. ....	88
3.4.4	Nivel de análisis.....	89
3.5	DESCRIPCION GENERAL DEL PROCESO RCM .....	89
3.6	APLICACION DEL SOFTWARE.....	91
3.7	PLANIFICACIÓN Y PREPARACIÓN.....	91
3.8	ANÁLISIS RCM .....	92
3.8.1	Reunión lanzamiento del equipo. ....	92
3.8.2	Recolección inicial de datos.....	92
3.8.3	Particionamiento del hardware.....	97
3.8.4	Funciones. ....	100
3.8.5	Fallas funcionales. ....	103
3.8.6	Modos de falla. ....	105
3.8.7	Efectos de las fallas .....	106
3.8.8	Consecuencias de las fallas.....	108
3.8.9	Tareas de mantenimiento. ....	114
3.8.10	Selección de tareas de mantenimiento. ....	130
3.9	CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO 3 .....	136
4.	TÓPICOS RELEVANTES.....	137
4.1	OBJETIVO 4 .....	137
4.2	QUE ES IRCMS .....	137
4.3	ACERCA DEL IRCM .....	137
4.4	MANUAL DE USUARIO IRCMS 6.3.....	139
4.4.1	Instrucciones de instalación software iRCM.....	139
4.4.2	Creación de nuevos proyectos.....	140
4.4.3	Abrir proyectos existentes.....	142
4.4.4	Guardar. ....	142
4.4.5	Descripción de herramientas y espacios de trabajo. ....	142
4.4.6	Ventana principal de trabajo. ....	144
4.4.7	Iconos usados en el IRCMS 6.3.....	146
4.4.8	Ventana de configuración, SETUP. ....	146
4.5	CONFIGURACIÓN GENERAL .....	147
4.6	CONFIGURACIÓN POR DEFECTO, DEFAULT .....	148
4.7	FACTORES DE CONVERSIÓN, CF .....	149

4.8	CLASES DE GRAVEDAD, SEVERITY CLASSES.....	150
4.9	FRECUENCIA DE FALLAS; FAILURE FREQUENCIES.....	151
4.10	HRI MATRIZ (ÍNDICE DE RIESGO DE PELIGRO) .....	152
4.11	PUBLICACIONES, PUBLICATIONS .....	154
4.12	PAQUETES, PACKAGES .....	155
4.13	NIVEL DE MANTENIMIENTO, LEVEL OF MAINTENANCE.....	156
4.14	USUARIOS USER.....	157
4.15	MENU PRINCIPAL.....	160
4.15.1	File.....	161
4.15.2	Edit. ....	162
4.15.3	View.....	162
4.15.4	Tools.....	163
4.15.5	Reports: reportes contruidos al ingresar los datos. ....	165
4.15.6	FMECA. ....	166
4.15.7	Analysis detail, análisis detallado.....	168
4.15.8	Summary, resumen. ....	169
4.15.9	Task packaging.....	171
4.15.10	Cost/skills.....	172
4.15.11	Project summary, resumen del proyecto . ....	174
4.15.12	Hardware. ....	174
4.15.13	Memo Report. ....	174
4.16	WINDOWS.....	176
4.17	HELP.....	176
4.17.1	IRCMS Help.....	176
4.17.2	About IRCMS.....	176
4.18	USO DEL SOFTWARE IRCMS 6– 3 .....	177
4.18.1	Hardware information. ....	177
4.18.2	Function Information. ....	181
4.18.3	Functional failure information. ....	182
4.18.4	Failure Mode Information, información del modo de fallo. ....	185
4.18.5	Opciones en la ventana del modo de falla.....	189
4.18.5.1	Failure consequences. ....	189
4.18.5.2	Service/lubrication task, Tareas de Servicio o de Lubricación .....	190
4.18.5.3	On–Conditions task, Tarea por Condición. ....	192
4.18.6	Hard time tasks, Tareas de tiempo difícil. ....	194
4.18.7	Failure Finding Task, Tarea de Búsqueda de falla. ....	195
4.18.8	Age Exploration, Exploración por la edad. ....	195
4.18.9	Other Action/ No PM.....	197
4.18.10	Cost/ Downtime Analysis.....	199
4.18.11	Package/ Summary Information. ....	201
4.19	ANÁLISIS CONTRASTADO.....	205
4.20	CONCLUSIONES DEL CAPITULO 4 .....	213
5.	CONCLUSIONES .....	214
	BIBLIOGRAFÍA.....	215

## ILUSTRACIONES

Ilustración 1 – Secuencia lógica lineal de objetivos.....	14
Ilustración 2 – Evolución del mantenimiento expectativas y técnicas. ....	24
Ilustración 3 – Elementos de un sistema kantiano.....	24
Ilustración 4 – Elementos de un sistema kantiano de ingeniería de fábricas. ....	25
Ilustración 5 – Unidad básica de producción. ....	26
Ilustración 6 – Unidad basica de mantenimiento. ....	27
Ilustración 7 – Sistema integrado de ingeniería de fábricas. ....	29
Ilustración 8 – Elementos estructurales de ingeniería de fábricas. ....	29
Ilustración 9 – Niveles de mantenimiento de la casa ESReDa. ....	30
Ilustración 10 – Niveles y categorías del mantenimiento bajo enfoque sistémico. ....	32
Ilustración 11 – Curva de la bañera o de Davies. ....	34
Ilustración 12 – Curva de Davies, acciones y tácticas, $\beta$ eta. ....	36
Ilustración 13 – Algunas de las normas que gobiernan el RCM. ....	38
Ilustración 14 – Secuencia lógica de las siete preguntas proceso RCM. ....	40
Ilustración 15 – Patrones para modos de falla. ....	46
Ilustración 16 – Secuencia lógica de falla múltiple. ....	52
Ilustración 17 – Aplicabilidad de FMECA y RCM según falla y causa. ....	53
Ilustración 18 – Curva P– F.....	56
Ilustración 19 – Intervalo P– F.....	56
Ilustración 20 – Etapas en la implementación global del RCM. ....	59
Ilustración 21 – Pasos de aplicación del RCM. ....	60
Ilustración 22 – Grupos de revisión RCM. ....	61
Ilustración 23 – Responsabilidades de los facilitadores: ....	62
Ilustración 24 – Beneficios RCM. ....	64
Ilustración 25 – Diagrama de Decisión RCM II.....	68
Ilustración 26 – Diagrama de flujo de la toma de decisiones. ....	71
Ilustración 27 – Hoja decisional ALADON. ....	72
Ilustración 28 – Correlación referencias hoja de información vs. hoja decisional. ....	77
Ilustración 29 – Hoja de decisión RCM II .....	79
Ilustración 30 – Registro consecuencias de fallas en hoja de decisión. ....	80
Ilustración 31 – Tareas Proactivas. ....	83
Ilustración 32 – Acciones. ....	84
Ilustración 33 – Descripción del Proceso RCM. ....	90
Ilustración 34 – Mapa del proceso RCM. ....	91
Ilustración 35 – Cambiavías UIC 54– 190– TG 1/9 posicionado a la izquierda. ....	93
Ilustración 36 – Cambiavías UIC 54– 190– TG 1/9 posicionado a la derecha. ....	93
Ilustración 37 – Esquema división de un cambiavías UIC 54– 190– TG 1/9.....	94

Ilustración 38 – Estructura de la vía permanente y sus componentes. ....	94
Ilustración 39 – Datos técnicos vía permanente. ....	95
Ilustración 40 – Componentes cambiavías UIC 54– 190– TG 1/9. ....	95
Ilustración 41 – Plano ensamble cambiavías UIC 54– 190– TG 1/9. ....	96
Ilustración 42 – Ejemplo hardware partition o hardware breakdown. ....	97
Ilustración 43 – Setup. ....	98
Ilustración 44 – Creación equipo cambiavías UIC 54– 190– TG 1/9. ....	99
Ilustración 45 – Creación componentes cambiavías UIC 54– 190– TG 1/9. ....	99
Ilustración 46 – Análisis FMECA. ....	100
Ilustración 47 – Identificación de funciones significativas. ....	101
Ilustración 48 – Función principal sistema cambiavías UIC 54– 190– TG 1/9. ....	102
Ilustración 49 – Identificación de fallas funcionales. ....	103
Ilustración 50 – Falla funcional de la función principal. ....	104
Ilustración 51 – Identificación de modos de falla. ....	105
Ilustración 52 – Modo de falla de la función principal. ....	106
Ilustración 53 – Identificación de efectos de falla. ....	106
Ilustración 54 – Identificación de modos de falla y sus efectos. ....	107
Ilustración 55 – Clasificación y categorías de la severidad. ....	108
Ilustración 56 – Tiempo medio entre fallas (MTBF). ....	109
Ilustración 57 – Clasificación de la criticidad. ....	111
Ilustración 58 – Evaluación de la severidad. ....	112
Ilustración 59 – Evaluación tiempo medio entre fallas (MTBF). ....	112
Ilustración 60 – Evaluación de la criticidad. ....	113
Ilustración 61 – Lógica decisonal RCM. ....	114
Ilustración 62 – Evaluación lógica decisonal IRCMS. ....	115
Ilustración 63 – Evaluación tareas de mantenimiento. ....	115
Ilustración 64 – Service/Lubrication Task. ....	116
Ilustración 65 – Evaluación de tareas de servicio. ....	117
Ilustración 66 – Evaluación de tareas de lubricación. ....	118
Ilustración 67 – On–Condition Task. ....	119
Ilustración 68 – Curva P– F e intervalo P– F. ....	120
Ilustración 69 – Evaluación de tareas basadas en monitoreo de condición. ....	121
Ilustración 70 – Hard time task. ....	122
Ilustración 71 – Evaluación de tareas de tiempo difícil. ....	122
Ilustración 72 – Failure finding task. ....	123
Ilustración 73 – Other action. ....	124
Ilustración 74 – Evaluación de no PM y otras acciones. ....	124
Ilustración 75 – Reporte FMECA páginas 8 de 8. ....	125
Ilustración 76 – Reporte de análisis detallado página 1 de 111. ....	129
Ilustración 77 – Reporte resumen del análisis 1 de 37. ....	130

Ilustración 78 – Reporte de empaqueto de tareas página 1 de 3. ....	131
Ilustración 79 – Reporte de clasificación de costos página 1 de 3.....	132
Ilustración 80 – Listado de tareas de mantenimiento. ....	133
Ilustración 81 – Costos, RCM y ciclo de vida LCC. ....	208
Ilustración 82 – Evaluación del riesgo RPN .....	209
Ilustración 83 – Evaluación de ocurrencia casa Aladon e IRCMS. ....	210
Ilustración 84 – Rangos para ocurrencias casa Aladon e IRCMS. ....	211
Ilustración 85 – Evaluación de severidad casa Aladon e IRCMS. ....	211
Ilustración 86 – Categorías de severidad casa Aladon e IRCMS. ....	212
Ilustración 87 – Cálculo para evaluación de riesgos casa ALADON e IRCMS. ..	212

## ECUACIONES

Ecuación 1 - Riesgo.....	208
Ecuación 2 - Riesgos de RCM .....	209

## **2. PRÓLOGO**

### **0.0 INTRODUCCIÓN**

Las organizaciones industriales son día a día más consientes en centrar sus esfuerzos y recursos para alcanzar niveles de eficiencia cada vez mayores, esto como consecuencia de los altos estándares de calidad que exige el mercado actual además de la competitividad global y los acelerados cambios tecnológicos.

Para que las empresas alcancen niveles productivos exitosos es necesario desarrollar estándares superiores a los de sus competidores directos, los pasos para llegar al éxito radican en la velocidad que poseen estos entes para adaptarse al cambio, optimizar los recursos, mejorar sus procesos y productos.

Es de vital importancia plantear estrategias, desarrollar políticas e implementar sistemas de mejoramiento continuo, los cuales ayuden alcanzar los estándares deseados y llevar a la organización a niveles superiores de productividad, es allí donde entra mantenimiento, uno de los protagonistas del plan de mejoramiento de la organización. Este desempeña su papel principal en la gestión de los activos.

Cuando los activos fallan, no solo afecta la función de generar riqueza, ni solo interrumpen sus servicios, sino que también amenazan la seguridad, el medio ambiente y las operaciones, la falla de equipos es una causa fundamental en incidentes industriales a nivel mundial, como consecuencia de esto, es realmente de alta prioridad los procesos por los cuales ocurren estas fallas y las acciones a implementar para evitarlas (Moubrey, 2004).

Muchos de los directivos de las compañías industriales optan por la implementación de tácticas como el RCM, estrategia útil para optimizar el mantenimiento, base de un proceso sistemático cuyo objetivo es un plan de trabajo preventivo para equipos complejos, su centro es la confiabilidad de los sistemas, donde lo más importante consiste en priorizar los recursos sin afectar la funcionalidad y mucho menos la seguridad de las instalaciones.

El RCM encuentra las tareas de mantenimiento costo– eficaces para cualquier activo físico, nace inicialmente en la industria de la aviación civil hace más de treinta años, en la actualidad muchas empresas a nivel mundial de diversos sectores lo practican, muy popular en industrias petroquímicas, grandes mineras, generadoras de energía, sector transporte y principalmente en las fuerzas armadas de muchos países.

## **0.1 OBJETIVO GENERAL**

Desarrollar un manual técnico para facilitar la implementación del software iRCM en sector industrial (iRCM Software, 2016).

## **0.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

### **0.2.1 Uno – Fundamentos.**

Describir los fundamentos conceptuales y prácticos de una táctica de mantenimiento (RCM). – Nivel 1 – Conocer.

### **0.2.2 Dos – Lógica decisional RCMII.**

Relatar el flujograma decisional del RCM con el fin de garantizar la funcionalidad de los equipos. – Nivel 2 – Comprender.

### **0.2.3 Tres – Aplicación.**

Implementar. (Caso real de estudio). – Nivel 3 – Aplicar.



#### 0.2.4 Cuatro – Tópicos relevantes.

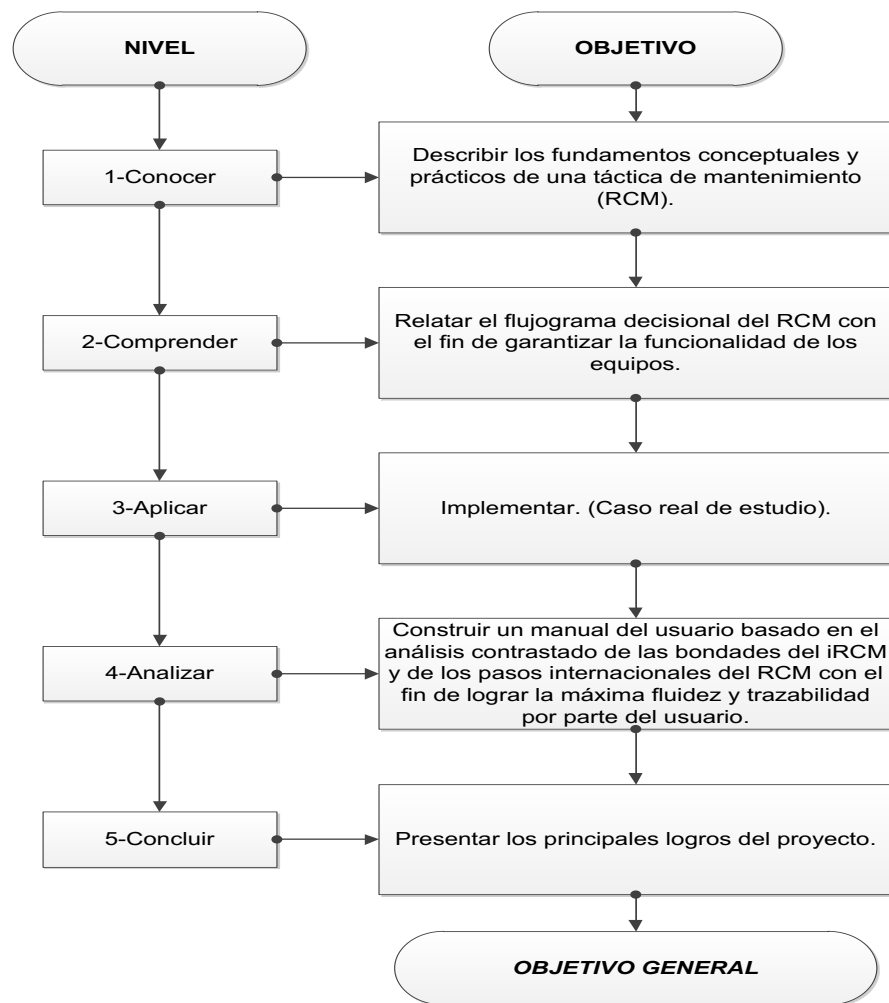
Construir un manual del usuario basado en el análisis contrastado de las bondades del iRCM y de los pasos internacionales del RCM con el fin de lograr la máxima fluidez y trazabilidad por parte del usuario. – Nivel 4 – Analizar.

#### 0.2.5 Cinco – Conclusiones.

Presentar los principales logros del proyecto. – Nivel 5 – Concluir.

Este trabajo se desarrolla con base a una secuencia lógica en el planteamiento de los objetivos según la metodología propuesta por Bloom y Gagné.

Ilustración 1 – Secuencia lógica lineal de objetivos.



(Gagné@, y otros, 2008)<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> @ el símbolo de arroba se usa en este libro para denotar que la fuente es tomada de Internet y se clasifica en forma detallada en la Bibliografía.

### **0.3 ESTRUCTURA DEL PROYECTO**

El primer capítulo trata sobre los fundamentos propios de esta táctica de mantenimiento, plantea el fundamento técnico de como el RCM opera para mejorar la confiabilidad.

El segundo capítulo describe el flujo decisional del RCM como herramienta para priorizar actividades, detalla el proceso de análisis para garantizar el correcto funcionamiento de los equipos.

El tercer capítulo aplica toda la metodología RCM para obtener un plan de mantenimiento basado en el software iRCM.

El cuarto capítulo recopila toda la información obtenida en los tres capítulos anteriores y presenta un manual técnico con todos los pasos para realizar un análisis RCM en el software.

El quinto capítulo muestra las principales conclusiones sobre el desarrollo del proyecto

### **0.4 ANTECEDENTES**

El enfoque tradicional de los planes de mantenimiento considera que cada componente que forma parte de un equipo complejo tiene una cierta edad a la cual necesita ser reemplazado completamente para garantizar su confiabilidad, seguridad y operatividad (revisión periódica), también demuestra que no es posible prevenir o reducir los impactos de muchos tipos de fallas en forma efectiva por estas actividades de mantenimiento.

En respuesta a este problema, los diseñadores de aviones crean nuevos desarrollos para modificar las características en los diseños, esto con el fin de reducir las consecuencias de las fallas en sus equipos, el objetivo mejorar los aviones para que estos presenten mayor tolerancia, prácticas como la duplicidad de sistemas, el uso de varios motores y estructuras resistentes a los daños, presentan cambios sensibles en la relación entre confiabilidad y seguridad pero no garantizan valores significativos.

Para aquel momento no es posible establecer una relación entre mantenimiento preventivo y confiabilidad, a finales de 1950, en la aviación comercial a nivel mundial ocurren más de 60 accidentes por millón de despegues, de los cuales la gran mayoría de estos eventos son atribuidos a fallas en los equipos, este hecho conlleva al desarrollo de un nuevo enfoque, el cual centra su atención en la confiabilidad y seguridad de los sistemas.

A principios de 1960 tiene el RCM sus inicios, el desarrollo es hecho por la industria de la aviación civil norteamericana cuando las aerolíneas entienden que muchas de sus filosofías de mantenimiento además de inseguras son demasiado costosas, lo cual inspira a desarrollar una serie de Grupos de Dirección de Mantenimiento o MSG<sup>2</sup>, conformados por los representantes de los fabricantes de aeronaves, personal de las aerolíneas y miembros de la fuerza área norteamericana.

En 1965, nace una técnica rudimentaria del diagrama de decisión y en 1967 se presenta un informe sobre su aplicación en el encuentro de AIAA<sup>3</sup> para el diseño y operación de la aviación comercial, refinamientos posteriores de la técnica son mejoras incluidas en el Manual de Desarrollo y Evaluación de Programas de Mantenimiento, en 1970 un grupo guía cuya misión es dirigir el desarrollo del programa del nuevo avión Boeing 747, presenta el documento MSG– 1, primer plan de mantenimiento preventivo con base en los principios RCM, este desarrollo para el programa de mantenimiento del Boeing 747 el cual para ese momento es todo un éxito.

El uso de la técnica del diagrama de decisión, presenta mejoramientos posteriores, dos años más tarde en el segundo documento se incorporan las nuevas medidas en el MSG– 2 Manual de Planeación de Programas de Mantenimiento para Fabricantes y Aerolíneas.

El MSG– 2 sirve como base para el desarrollo del mantenimiento programado de los aviones Lockheed 1011 y Douglas DC 10, ambos programas exitosos. Luego seguirá la migración a la aviación táctica militar; las primeras aplicaciones son en aeronaves

---

<sup>2</sup> MSG, Grupos de Dirección de Mantenimiento, del inglés *Maintenance Steering Groups*.

<sup>3</sup> AIAA, Instituto Americano de Aeronáutica y Astronáutica, del inglés *American Institute of Aeronautics and Astronautics*.

tales como los Lockheed S- 3 y P- 3 y el Mc Donnell F4J. Un documento similar preparado en Europa es la base para los programas iniciales de los aviones Airbus A-300 y Concorde.

Los objetivos de las técnicas de los documentos MSG- 1 y MSG- 2 consiste en desarrollar un programa de mantenimiento cíclico que asegure la máxima seguridad y confiabilidad que pueda alcanzarse en un equipo con un bajo coste, en 1973 el Departamento de Defensa de USA incorporó los conceptos y métodos del RCM en varias aplicaciones militares, fuerza aérea, marina y ejército.

Uno de los acontecimientos más significativos es el informe que presenta el Departamento de Defensa de los Estados Unidos de América a la firma United Airlines en 1978, dicho informe producto del trabajo de Stanley Nowlan y Howard Heap, brinda una detallada descripción del desarrollo e implementación de la metodología RCM en la industria de la aviación civil, este reporte presenta un considerable avance en la filosofía MSG- 2 y sirve como base para la creación del MSG- 3.

En 1980, la ATA (Asociación de Transporte Aérea de América) produce el MSG- 3, Documento para el Desarrollo de un Programa de Mantenimiento para Fabricantes y Aerolíneas.

El reporte de Nowlan y Heap es desde entonces la base para varios modelos RCM de tipo militar y para aquellas actividades de mantenimiento no relacionadas con la aviación, el MSG- 3 con sus dos revisiones la primera en 1988 y la segunda en 1993, es hoy el documento guía para el desarrollo de los programas iniciales de mantenimiento programado para los nuevos aviones comerciales.

En un trabajo paralelo pero independiente a comienzos de 1980, en el Instituto de Investigación de la Energía Eléctrica (EPRI<sup>4</sup>), un grupo de investigación industrial de las empresas de energía eléctrica desarrolla dos trabajos pilotos de RCM en la industria de la energía nuclear de Estados Unidos. Su principal interés surge de la creencia de que esta industria alcanza niveles adecuados de seguridad y confiabilidad, pero que sus equipos son excedidos de mantenimiento.

---

<sup>4</sup> EPRI, Instituto de Investigación de Energía Eléctrica, del Ingles Electric Power Research Institute.

Su objetivo principal simplemente reducir costos de mantenimiento, antes que mejorar la confiabilidad, proceso con muchas modificaciones y poca concordancia con los procesos RCM originales de Nowlan y Heap, en 1987 es ampliamente familiar en la industria de la energía nuclear de Estados Unidos. Posteriormente otras instalaciones nucleares realizan variaciones de este enfoque, como también otras ramas de la industria de la generación eléctrica y partes de la industria petrolera.

Al mismo tiempo ciertos especialistas de la formulación de estrategias de mantenimiento se sienten interesados en la aplicación del RCM en otras industrias aparte de la aeronáutica. Entre los primeros John Moubray y sus asociados, este grupo inicialmente trabaja el RCM en industrias mineras y manufactureras de Sud-África bajo la tutela de Stan Nowlan, y posteriormente en el Reino Unido. A partir de allí sus actividades se expanden en casi todo sector industrial abarcando más de 40 países.

Hacen agregados al trabajo de Nowlan pero mantienen el criterio original con respecto a la seguridad y confiabilidad de los equipos. Por ejemplo, incorporan temas de medio ambiente en los procesos de decisión, clarifican la manera en que definen las funciones de los equipos, desarrollan reglas más precisas para elegir las tareas e intervalos de mantenimiento y adicionan criterios cuantitativos de riesgo aplicables directamente a la fijación de los intervalos de tareas de búsqueda de fallas. Su versión mejorada de RCM conocida en la actualidad como RCM2 metodología que se basa en el RCM pero adaptada para implementarse en industrias por fuera de la aviación.

Desde principios de 1990 muchas organizaciones más desarrollan variaciones del proceso RCM. Algunos, como el Comando Aéreo de la Armada con sus Principios para el Proceso de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad de la Aviación Naval (NAVAIR00-25-403), y el de la Marina Real Británica con su Estándar de Ingeniería Naval (NES45).

Durante la década del 90' las revistas y conferencias que hablan de mantenimiento de equipos se mantienen en aumento, y la información disponible sobre RCM surgida de los medios se hace cada vez más numerosa. Esto demuestra como procesos muy diferentes reciben el mismo nombre de RCM lo cual lleva a la industria militar y comercial de Estados Unidos la necesidad de definir que es un proceso RCM.

El reconocimiento mundial del RCM en la formulación de estrategias de administración de activos físicos y la importancia de aplicar RCM correctamente, conduce a la SAE<sup>5</sup> a publicar la norma (SAE JA 1011) Criterio de Evaluación del Proceso de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM). Este estándar muestra criterios con los cuales se puede comparar un proceso. Si el proceso satisface dichos criterios, se lo considera un proceso RCM, caso contrario no lo es. Esto no significa necesariamente que los procesos que no cumplan con el estándar SAE de RCM no resulten válidos para la formulación de estrategias de mantenimiento. Solo quiere decir que no se les debería aplicar el termino RCM a los mismos.

En la actualidad muchos procesos se denominan RCM, La norma SAE JA 1011 de 1999, proporciona los criterios para identificar que procesos cumplen los principios originales del RCM y cuáles no. La norma (SAE JA 1012) Guía para la Norma de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) de 2002, explica la terminología, amplia y clarifica los conceptos claves y como se debe seguir la norma SAE JA 1011. (Moubray@, 2001).

## **0.5 JUSTIFICACIÓN**

Los costos de mantenimiento están asociados a las actividades planeadas y a las no programadas, en muchas organizaciones desconocen el costo de la no disponibilidad de los equipos, costo que depende de los fallos y es directamente imputable a mantenimiento.

El departamento de mantenimiento es un ente de apoyo y servicio logístico para producción, es una acción puramente logística que trata de prever fallas y proveer los recursos necesarios para que las maquinas conserven su estado de funcionalidad.

De igual manera mantenimiento impacta todos los niveles del negocio: Costos, riesgos, seguridad, medio ambiente, uso eficiente de la energía y calidad, la táctica RCM

---

<sup>5</sup> SAE, Sociedad Americana de Ingenieros Automotrices, del ingele American Society of Automotive Engineers

justifica su implementación como una estrategia para mejorar la confiabilidad de los equipos alcanzando así obtener ventaja competitiva dentro del mercado.

El RCM en el sector industrial no solo involucra los procesos productivos sino también los administrativos y el producto final, crea un ambiente altamente crítico en todo el personal (operaciones y mantenimiento), alcanza reducciones significativas en los costos de mantenimiento, optimiza la confiabilidad operacional, maximiza la disponibilidad y/o mejora la mantenibilidad de los equipos.

La táctica RCM trabaja bajo el concepto de que los equipos realicen las funciones que sus usuarios desean por el tiempo que ellos lo requieran, la reducción de costos y los beneficios económicos en la planta ocurren como consecuencia de la implementación de diferentes tareas de mantenimiento que evitan las fallas y aumentan los tiempos de operación de las máquinas.

## **0.6 CONCLUSIÓN DEL CAPÍTULO 0**

Esta sección describe de manera general la estructura del proyecto, menciona en forma lógica y coherente los planteamientos, el desarrollo y alcance del mismo.



## 1. TÁCTICA RCM

### 1.1 OBJETIVO 1

Describir los fundamentos conceptuales y prácticos de una táctica de mantenimiento (RCM). – Nivel 1 – Conocer.

### 1.2 EVOLUCIÓN DEL MANTENIMIENTO

La principal función de mantenimiento es sostener la funcionalidad de los equipos y el buen estado de las máquinas a través del tiempo, bajo esta premisa se puede entender la evolución del área de mantenimiento al atravesar las distintas épocas acorde a las necesidades de sus clientes; que son todas aquellas dependencias y/o empresas de procesos o servicios, que generan bienes reales o intangibles mediante la utilización de estos activos, para producirlos.

La historia del mantenimiento como parte estructural de las empresas, data desde la aparición de las máquinas<sup>6</sup> para la producción de bienes y servicios<sup>7</sup>, inclusive desde cuando el hombre forma parte de la energía de dichos equipos.

Se reconoce la aparición de los primeros sistemas organizacionales de mantenimiento para sostener las máquinas desde principios del siglo XX en los Estados Unidos donde todas las soluciones a fallas y paradas imprevistas de equipos se solucionan vía mantenimiento correctivo (Newbrough, y otros, 1982)<sup>8</sup>, reconoce el autor Junior Reed la similitud de conceptos, pero se remonta al siglo XVIII con las teorías de producción de David Ricardo como el origen claro de los sistemas de mantenimiento (Reed, 1971) (Ricardo, 1817).

---

<sup>6</sup> La función de mantenimiento parece originarse con la era de la industrialización con la aparición de los equipos organizados para producir. La misma aparición de producción genera la existencia de averías y fallas en los equipos, lo que conduce desde esa época hasta la actual en condiciones de gestión de mantenimiento (Souris, 1992).

<sup>7</sup> Desde mediados del siglo XVIII en la era de la industrialización que ocurre originalmente en Inglaterra con la aparición de las teorías de David Ricardo, en los sistemas organizacionales de producción (Ricardo, 1817) (Reed, 1971).

<sup>8</sup> Las citas bibliográficas de esta tesis denotan (Autor(es), año). En el evento de tener interés detallado sobre el tema citado y referenciado en la bibliografía, se recomienda mirar obra completa. Cada cita tiene su correspondiente Referencia Bibliográfica al final. Las referencias bibliográficas que no son del autor se expresan a continuación de cada ilustración.

El mantenimiento industrial en los últimos 80 años de historia muestra su evolución a través de tres grandes generaciones, de las cuales el RCM es considerado actualmente la piedra angular.

- **Primera generación:** cubre el período que se extiende hasta la segunda guerra mundial, en aquel entonces los procesos de mecanizado no se encuentran altamente tecnificados, la prevención de fallas no constituye una prioridad, la mayor parte de los equipos están conformados por sistemas simples y sobredimensionados, no existe la necesidad de un mantenimiento sistemático si no que por el contrario se ejecutan rutinas básicas de limpieza y lubricación, el personal técnico menos hábil que el actual.
- **Segunda generación:** durante la segunda guerra mundial se presentan cambios drásticos, la presión en los tiempos de guerra aumenta la demanda de bienes pero disminuye la mano de obra disponible en las industrias, esto genera un aumento en la tecnificación de los procesos de mecanizado, ya para los años 50 aumentan la cantidad y complejidad de las maquinas además de la dependencia industrial, esto concentra la atención en los tiempos muertos de las máquinas además lleva a la idea de que las fallas en los equipos pueden y deben prevenirse, dando lugar al concepto de mantenimiento preventivo, ya para la década del sesenta esto consiste principalmente en la programación de reparaciones mayores a intervalos fijos. El costo de mantener los equipos comienza a crecer comparado con otros costos operaciones, lo cual llevo a sistemas de planeación y control del mantenimiento.
- **Tercera generación:** inicia desde mediados de la década del setenta, desde esta fecha hasta la actualidad el proceso de cambio en la industria se ha desarrollado con mucha fuerza y a grandes velocidades generando nuevas expectativas, nuevas investigaciones y nuevas técnicas. Con las nuevas expectativas en mantenimiento el concepto de tiempo de parada de maquina

cambia radicalmente ya que no solo se impacta la capacidad de producir si no que se incrementan los costos operativos y se generan afectaciones a los clientes, se presenta una mayor automatización y tecnificación de los procesos lo cual exige más altos niveles de confiabilidad y seguridad en las organizaciones, de la misma manera que crece la dependencia de los activos aumentan los costos para operarlos y mantenerlos.

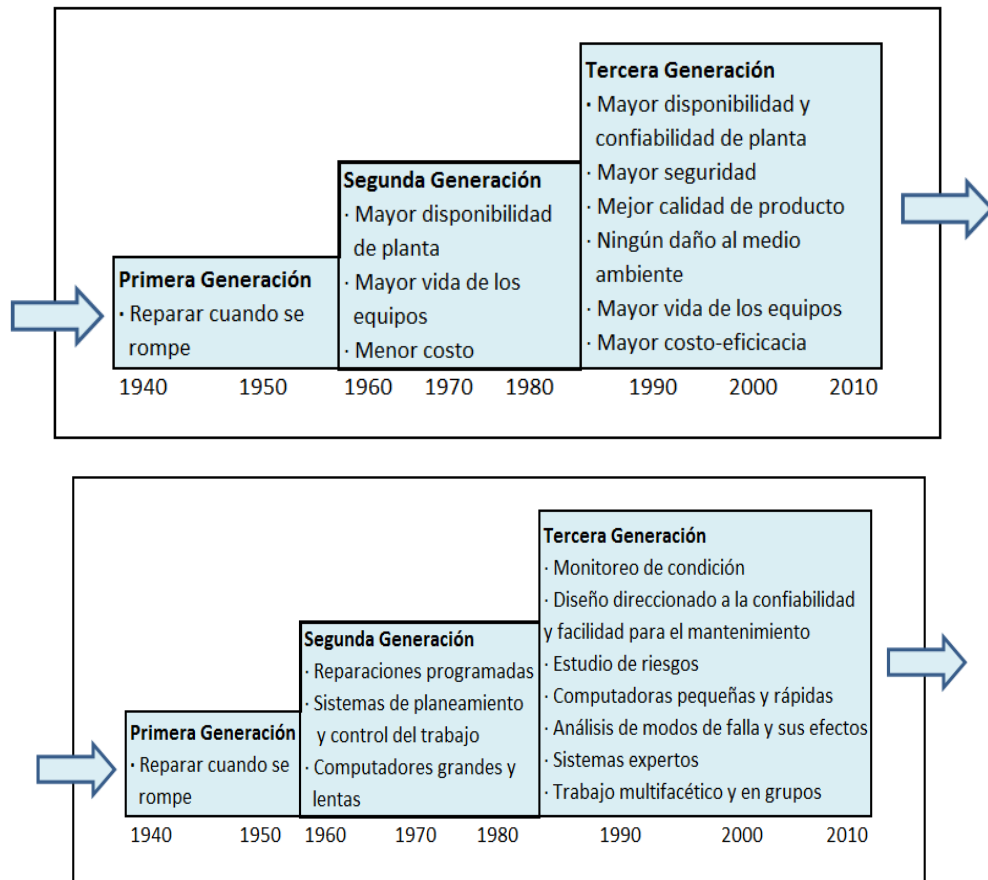
Las investigaciones están cambiando muchas de las viejas creencias relacionadas con la edad y las fallas en los equipos, investigaciones realizadas en la tercera generación revelan no uno si no seis patrones de fallas que ocurren en la práctica, una de las conclusiones más importantes de esta generación es que muchas de las tareas que surgen de los conceptos tradicionales de mantenimiento, a pesar de que se ejecuten como se planearon no logran ningún resultado positivo sobre la confiabilidad del equipos antes por el contrario puedes resultar contraproducentes y hasta peligrosas.

Durante la tercera generación se presenta un incremento explosivo de nuevas conceptos y técnicas de mantenimiento, de los cuales cientos se desarrollan en los últimos veinte años, nace la problemática para el personal de mantenimiento no solo en dominar estas técnicas si no de identificar cuáles son útiles para satisfacer las necesidades de su compañía, una buena elección de estas prácticas no solo mejora el mantenimiento si no que disminuye los costos y optimiza el rendimiento de estas actividades.

### **1.3 EL RCM COMO TÁCTICA**

A continuación se plantea el enfoque sistémico Kantiano, el cual sirve para estudiar y entender cualquier fenómeno, parte de la base que un sistema está compuesto por tres elementos, personas, artefactos y entorno, este establece las relaciones entre ellos y facilita su comprensión, también se plantea su aplicación en la ingeniería de fábricas y su conexión con el RCM.

Ilustración 2 – Evolución del mantenimiento expectativas y técnicas.



(Moubray, 2004)

Ilustración 3 – Elementos de un sistema kantiano.

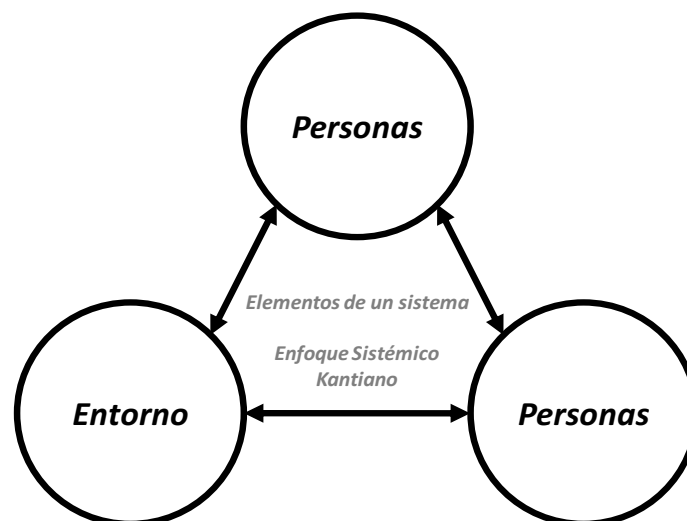
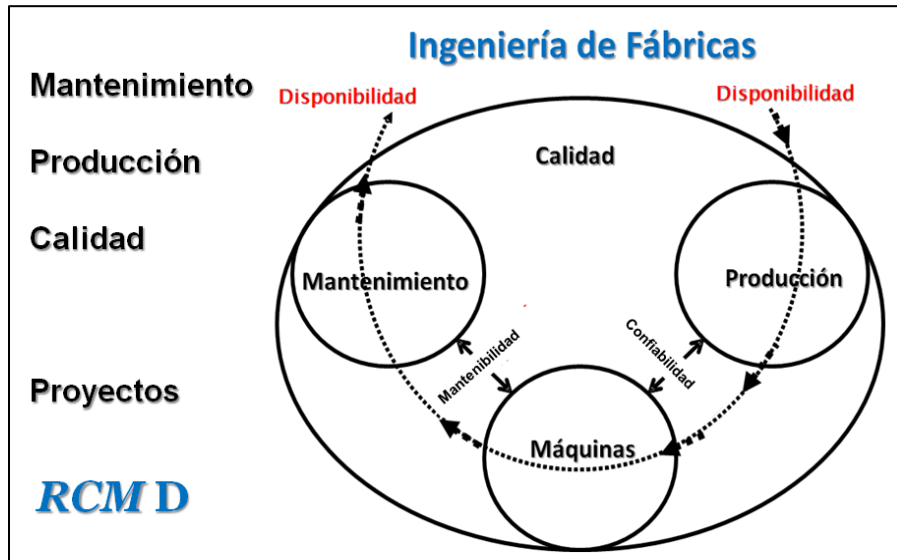


Ilustración 4 – Elementos de un sistema kantiano de ingeniería de fábricas.



(Mora, 2014) (Mora, 2013)

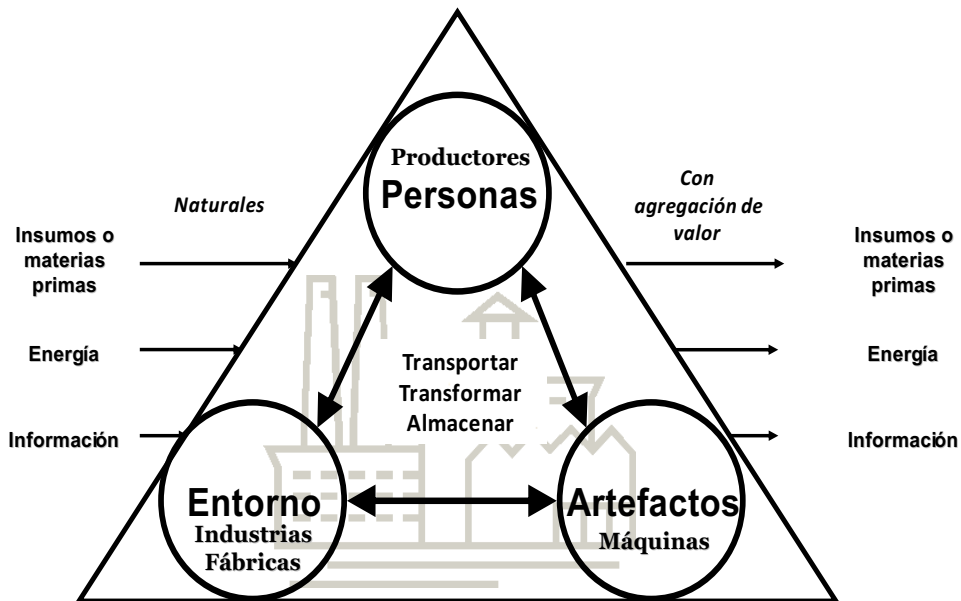
### 1.3.1 Unidad de producción.

El enfoque kantiano aplicado a un sistema básico de producción, resalta los siguientes tres elementos: productores (Personas), fábricas (Entorno) y máquinas (Artefactos); la interacción entre estos elementos produce en el ámbito industrial la fabricación de bienes y la prestación de servicios.

Dado que el objetivo de todo sistema productivo es agregar valor, este fin se solo se alcanza a partir de la interacción de tres acciones básicas: transformación, transporte o almacenamiento; las cuales están presentes de forma combinada en todo proceso productivo.

Dentro de la cadena de valor las acciones básicas de producción son susceptibles de utilizar insumos, materias primas, información o energía; la forma en que ambos factores se integran a nivel industrial se da atreves de los procesos de manufactura.

Ilustración 5 – Unidad básica de producción.



(Mora, 2007a)

### 1.3.2 Unidad básica de mantenimiento.

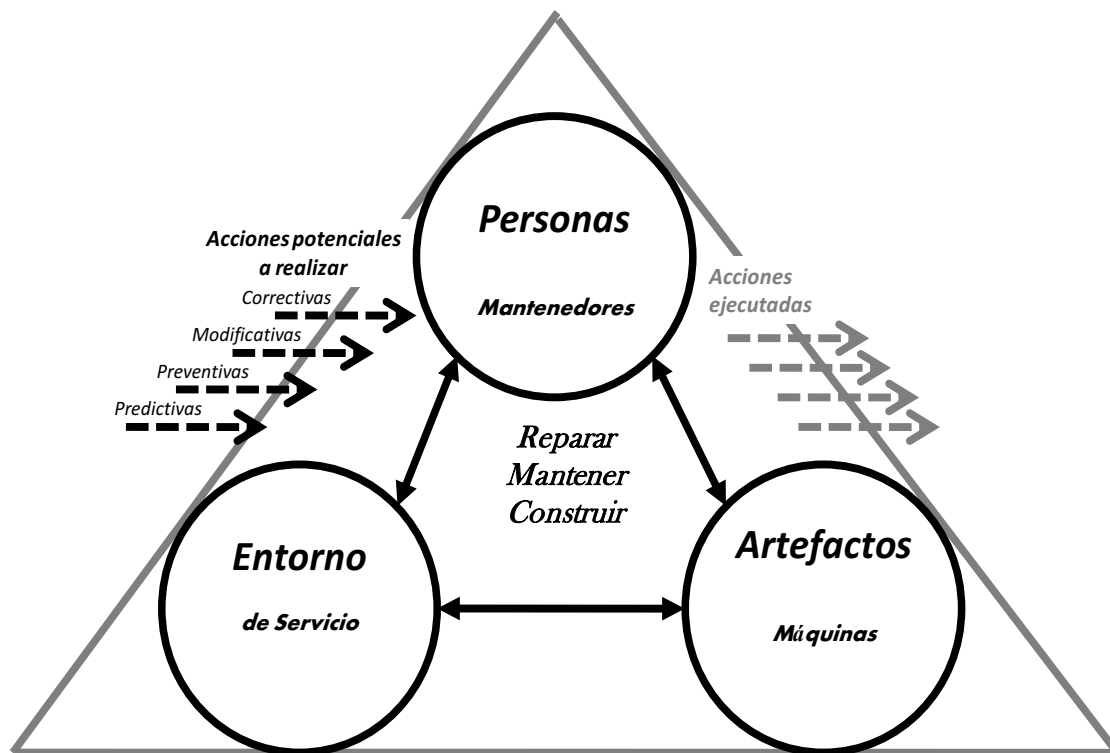
Aplica este mismo enfoque a mantenimiento, en el cual se identifican tres elementos fundamentales: mantenedores (Personas), máquinas o equipos industriales o de operación (Artefactos) y sitios físicos donde se prestan los servicios de mantenimiento (Entorno).

Los tres procesos con los cuales interactúa el área de mantenimiento son: reparar, mantener y construir estos se desarrollan bajo la ejecución de actividades propias, las cuales se cómo conocen en el ámbito industrial como acciones correctivas, modificativas, preventivas y predictivas.

Con el objetivo de identificar los actores principales de la ingeniería de fábricas, se integran ambas funciones básicas. El sistema unificado facilita visualizarlos en un sistema de ingeniería de fábricas, que son: los mantenedores, los productores y las máquinas; de esta forma se pueden establecer las primeras leyes de mantenimiento,

donde el sistema kantiano permite establecer que la relación entre Producción y Máquinas está gobernada por la confiabilidad, la correspondencia entre Mantenimiento y Máquinas, se estipula por la mantenibilidad; y la relación Mantenimiento– Máquina– Producción<sup>9</sup> se define por la disponibilidad, siendo este el parámetro más relevante del sistema.

Ilustración 6 – Unidad básica de mantenimiento.



(Mora, 2007b)

Con el objetivo de identificar los actores principales de la ingeniería de fábricas, se integran ambas funciones básicas. El sistema unificado facilita visualizarlos en un sistema de ingeniería de fábricas, que son: los mantenedores, los productores y las máquinas; de esta forma se pueden establecer las primeras leyes de mantenimiento, donde el sistema kantiano permite establecer que la relación entre Producción y Máquinas está gobernada por la confiabilidad, la correspondencia entre Mantenimiento

<sup>9</sup> Nótese que no es una relación cerrada, es abierta en Mantenimiento y Producción, estos se relacionan a través de las máquinas y, no en forma directa.

y Máquinas, se estipula por la mantenibilidad; y la relación Mantenimiento– Máquina– Producción<sup>10</sup> se define por la disponibilidad, siendo este el parámetro más relevante del sistema.

El enfoque sistémico kantiano de ingeniería de fábricas, establece que la relación entre los tres elementos es permanente o cerrada entre máquinas (parque industrial) y los otros dos partícipes (mantenimiento y operación), siendo abierta entre estas dos, de tal forma que las mejores prácticas indican que la relación entre mantenimiento y producción, debe hacerse a través de los equipos<sup>11</sup> y no en forma directa ya que, carece de sentido si no se habla de máquinas y de su comportamiento en el tiempo frente a sus fallas y a su disponibilidad.

El mantenimiento es el elemento que comprende a las personas que ofrecen y prestan el servicio de conservación de equipos a los departamentos o empresas que producen bienes o servicios, mediante los recursos de que disponen.

La producción (AOD)<sup>12</sup>, es el elemento que requiere y demanda el servicio de mantenimiento de los equipos que utiliza para producir bienes o servicios.

El parque industrial es el conjunto de elementos, equipos, artefactos, objetos, herramientas o líneas de producción<sup>13</sup>, que se utilizan para la agregación de valor en los productos o servicios.

El tratamiento del mantenimiento (como una ciencia) permite sintetizar sus elementos principales en tres: producción, máquinas y mantenimiento; a la vez que admite su jerarquización en niveles de categorías (Bertalanffy, 1994)(Whorf, 1953)(Whorf, 1952)(Uexcüll, 1920) y que establece las relaciones y las condiciones entre sus tres elementos. (Mora, 2014).

---

<sup>10</sup> Nótese que no es una relación cerrada, es abierta en Mantenimiento y Producción, estos se relacionan a través de las máquinas y, no en forma directa.

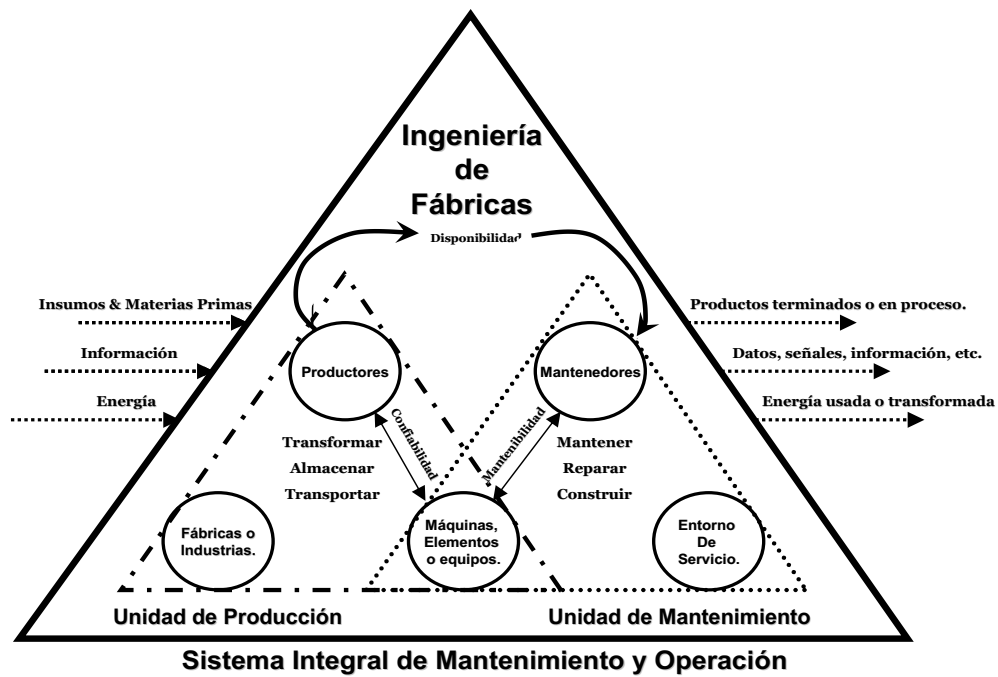
<sup>11</sup> Es decir que la comunicación y las conversaciones, entre mantenedores y productores, deben referirse en todo momento a las máquinas y no tratarse directamente mantenimiento y producción, para que se mantenga la naturalidad del sistema y, no se caiga en bondades o problemas directos sin una línea coherente del tema de los equipos, que es el que los une principalmente en el enfoque sistémico integral.

<sup>12</sup> A.O.D.: Aprovisionamiento, Operación y Distribución: Son todos aquellos departamentos o industrias que realizan actividades de aprovisionamiento u operación y distribución de bienes o servicios, internos o externos a la organización origen del mantenimiento.

<sup>13</sup> Donde se aplican las distintas acciones o tareas de mantenimiento.

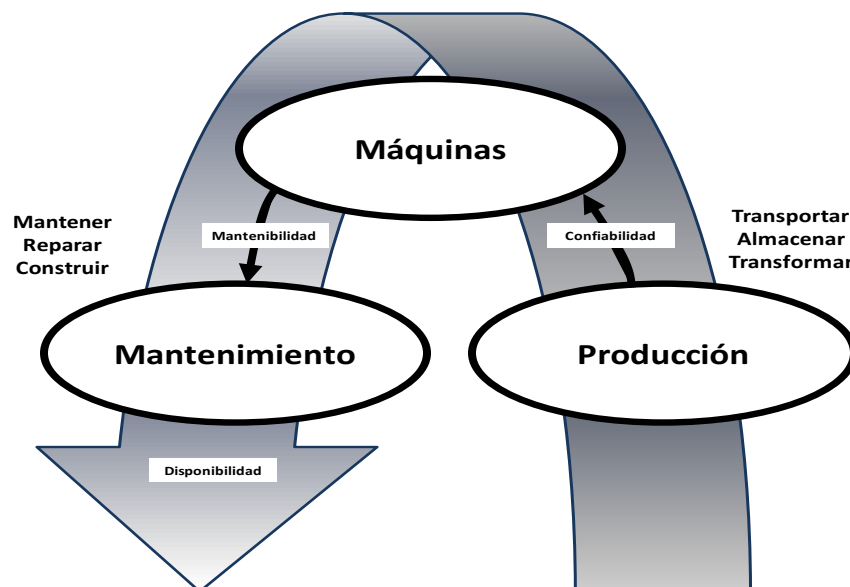


Ilustración 7 – Sistema integrado de ingeniería de fábricas.



(Mora, 2007a)

Ilustración 8 – Elementos estructurales de ingeniería de fábricas.

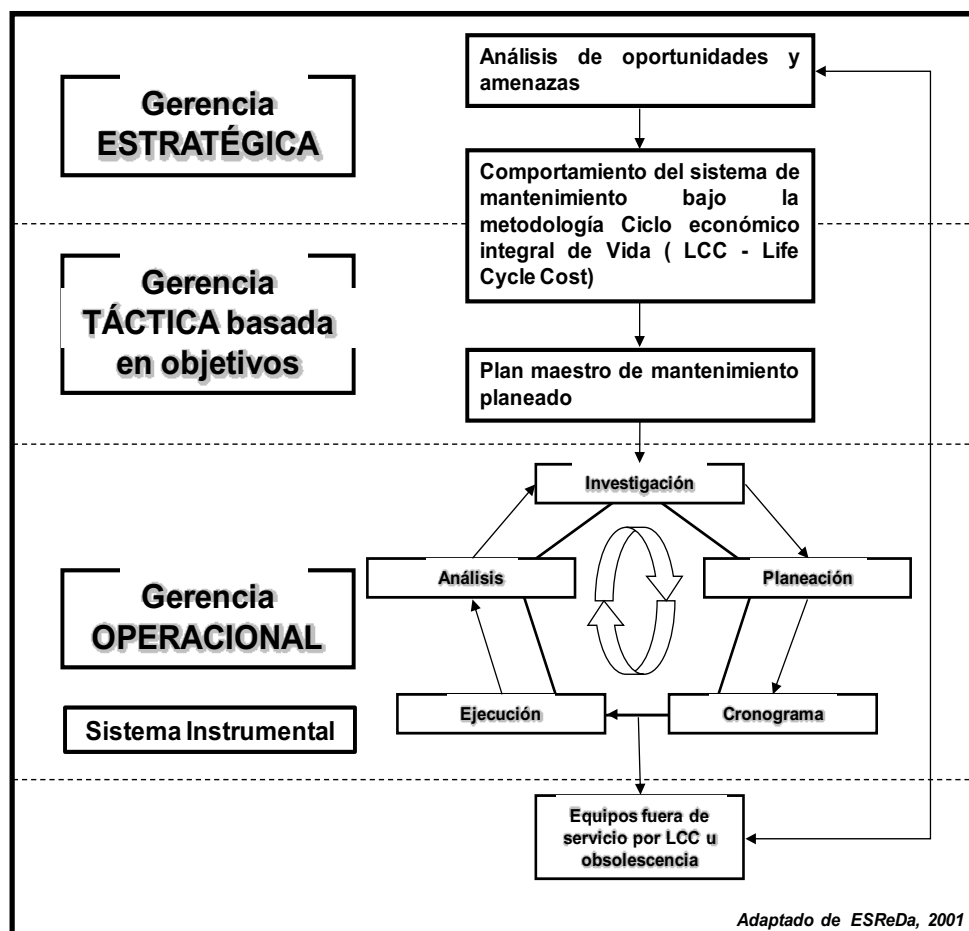


(Mora, 2007b)

Una primera aproximación a la categorización del mantenimiento, se encuentra instituida por la casa ESReDa en su Manual *Handbook*(ESReDa, 2001) donde se establecen tres niveles: táctico, operativo y estratégico; para presentar una adecuada clasificación para diversas tareas, acciones y temas del mantenimiento.

Establece la casa noruega ESReDa que normalmente los departamentos no tienen muy definida su estructura organizacional y menos sus costos sistémicos. La función de mantenimiento tiene una alta influencia en la rentabilidad de las empresas y en la ingeniería integradora de plantas.

Ilustración 9 – Niveles de mantenimiento de la casa ESReDa.



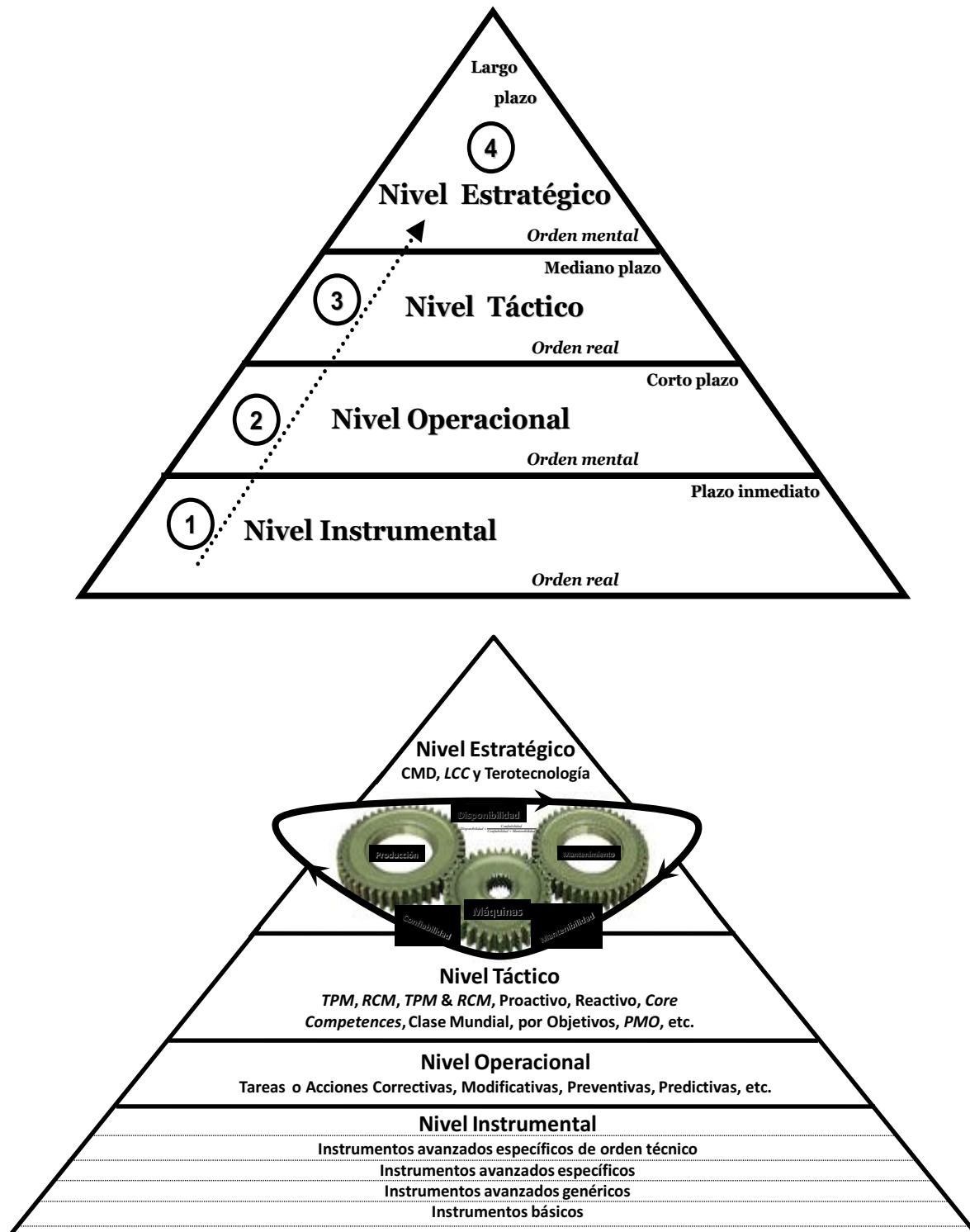
(Mora, 2014)

### 1.3.3 Niveles de la gestión del mantenimiento.

El sistema kantiano plantea cuatro niveles o categorías para jerarquizar los diferentes tópicos que maneja el mantenimiento.

- 1. Instrumental. (Funciones y Acciones):** en el nivel instrumental se procura el manejo sistémico de toda la información construida, requerida en un sistema de mantenimiento en lo referente a las relaciones entre Personas, Recursos y Máquinas; pertenecen a este grupo todos los registros, documentos, historia, información, codificación, etc.; en general todo lo que identifica a los equipos, a los recursos de A.O.D. y de mantenimiento; la administración de la información y su tratamiento estadístico; la estructura organizacional de los tres elementos de un sistema de mantenimiento. El nivel operacional contempla todos los elementos requeridos para que exista un sistema de gestión de mantenimiento, el cual comprende la información, las máquinas, etc. y en general las acciones concretas de Personas sobre los elementos.
- 2. Operacional. (Acciones mentales):** el nivel operacional comprende todas las posibles acciones a realizar en el mantenimiento de equipos por parte del ofertante, a partir de las necesidades y deseos de los demandantes.
- 3. Táctico (Conjunto de Acciones Reales):** el nivel táctico contempla el conjunto de acciones de mantenimiento que se aplican a un caso específico (un equipo o conjunto de ellos), es el grupo de tareas con el objetivo de alcanzar un fin; siguiendo las normas y/o reglas para ello establecido.
- 4. Estratégico. (Conjunto de Funciones y Acciones mentales):** el campo estratégico está compuesto por las metodologías que se desarrollan con el fin de evaluar el grado de éxito alcanzado con las tácticas desarrolladas; esto implica el establecimiento de índices, rendimientos e indicadores que permitan medir el caso particular con otros de diferentes industrias Locales, nacionales o internacionales. Es la guía que permite alcanzar el grado de éxito propuesto.

Ilustración 10 – Niveles y categorías del mantenimiento bajo enfoque sistémico.



(Mora, 1999)

#### 1.3.4 Curva de la bañera o de Davies.

La curva de la bañera, es una gráfica que representa las fallas durante el periodo de vida útil de un sistema o máquina, su nombre nace del parecido que tiene su forma con la sección transversal de una bañera cortada a lo largo.

En ella se pueden apreciar tres fases:

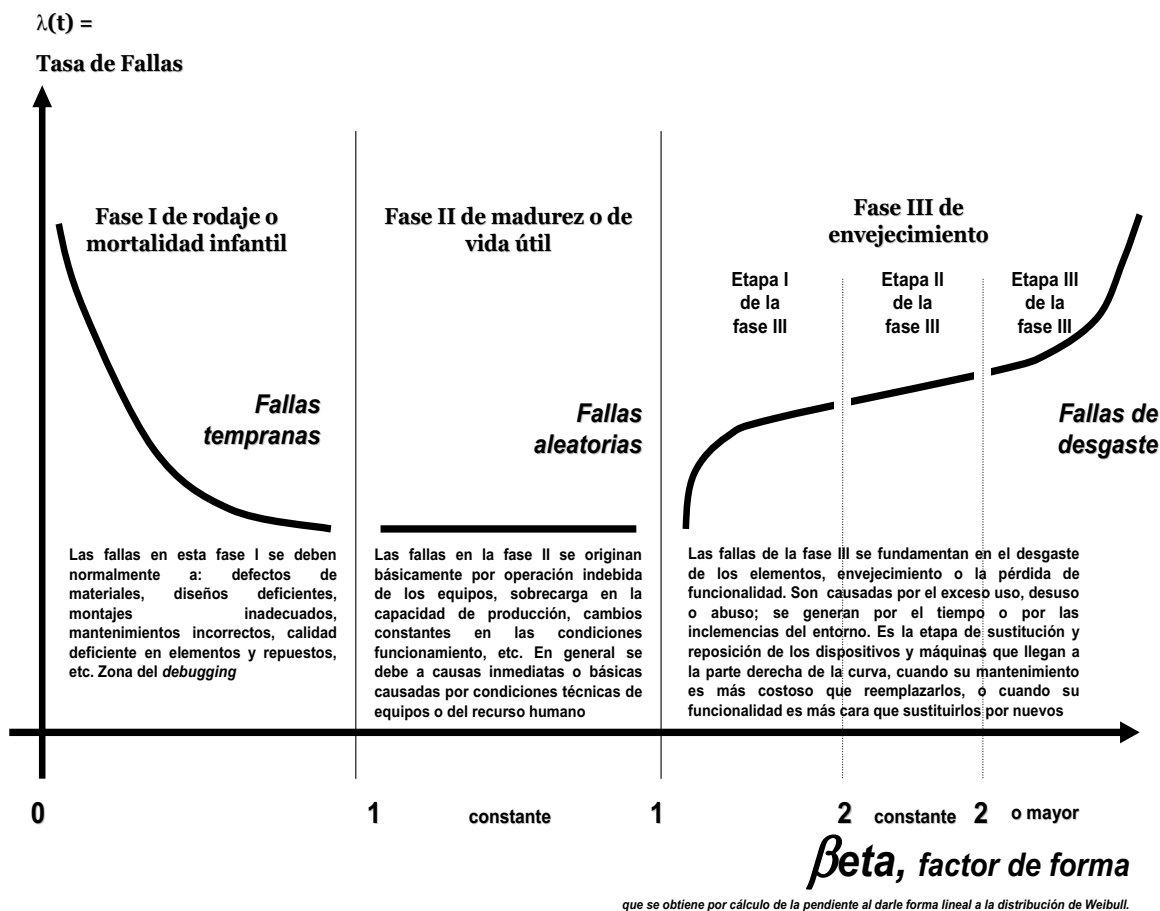
- **Fase I de rodaje o mortalidad infantil:** etapa que se caracteriza por tener una elevada tasa de fallos que descende rápidamente con el tiempo. Estos fallos se deben a diferentes razones como equipos defectuosos, instalaciones incorrectas, errores en el diseño del equipo, desconocimiento del equipo por parte de los operarios o desconocimiento del procedimiento adecuado.
- **Fase II de madurez o vida útil:** etapa con una tasa de fallas menor y comportamiento constante, Las fallas no se producen debido a causas inherentes al equipo, sino por causas aleatorias externas, estas causas pueden ser accidentes fortuitos, mala operación, condiciones inadecuadas entre otros.
- **Fase III de envejecimiento:** etapa caracterizada por una tasa de fallas rápidamente creciente los cuales se producen por desgaste natural del equipo debido al transcurso del tiempo.

Las diferentes acciones que se deciden sobre las tareas a realizar por parte de mantenimiento (y producción), dependen entre otros parámetros de la curva de la bañera o de Davies (Ebeling, 2005)

La evolución en el tiempo frente a la Tasa de Fallas  $\lambda(t)$  y el valor del parámetro de forma  $\beta$  del equipo que se evalúa, acorde a su valor para ese momento del equipo, se selecciona si las tareas de mantenimiento deben ser correctivas, modificativas, preventivas o predictivas, al tener en cuenta la fase en que se encuentre el elemento o

sistema. A partir de la curva de Davies se define el nivel II operacional de mantenimiento (Mora, 2014)

Ilustración 11 – Curva de la bañera o de Davies.



(Mora, 2007b)

Por otra parte el indicador  $\beta$  de confiabilidad se utiliza para medir la dispersión del comportamiento de las fallas, este es inverso a la duración promedio de las paradas:

- **Fase I:** se presentan fallas menores e intensas en el tiempo, estas son fallas impredecibles y de comportamiento atípico.

- **Fase II:** se alcanza un mayor control sobre las fallas imprevistas, estas empiezan en función del tiempo a estabilizarse con relación a su duración, normalmente en esta fase tienden a desaparecer las fallas desconocidas e intempestivas.
- **Fase III:** fase de envejecimiento o de desgaste acelerado, esta a su vez se divide en tres etapas.
- **Etapas I:** las fallas con relación a su comportamiento se comportan muy similares y se conocen con antelación.
- **Etapas II:** las fallas tienden a estabilizarse.
- **Etapas III:** las fallas que se presentan en esta etapa son totalmente predecibles y su comportamiento con relación a los tiempos de duración se normaliza totalmente.

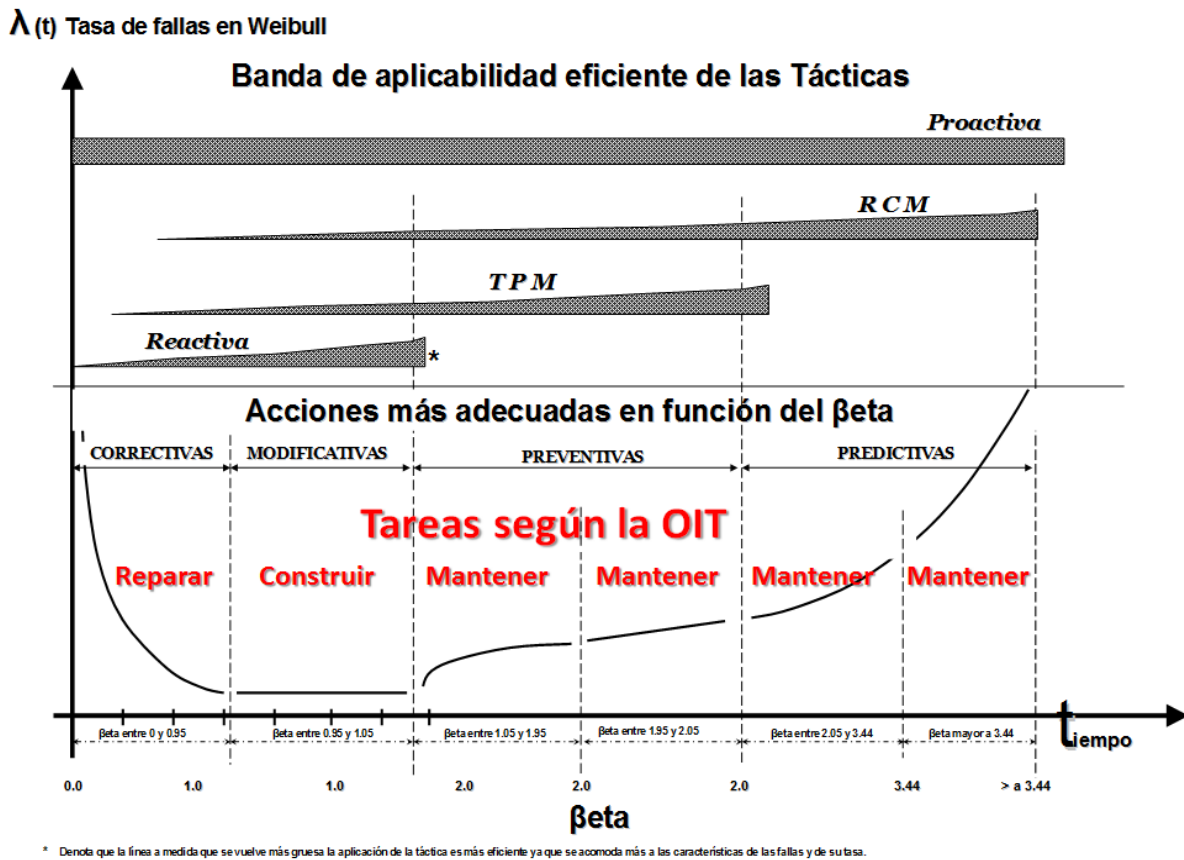
En la siguiente gráfica se observa como el RCM es la única táctica que abarca todo el ciclo productivo de un activo, desde el momento que este se pone en funcionamiento hasta el momento que se desactiva o se le da de baja, resalta la fase III donde más se destaca el RCM por la implementación de acciones predictivas.

## 1.4 RCM

La primera industria expuesta a los grandes desafíos del mantenimiento, es la industria de la aviación comercial, el componente clave que origina esta reacción, es darse cuenta que se dedica tanto esfuerzo en asegurar que las tareas a realizar se hagan de la manera correcta tanto como en asegurar que se hacen las tareas que verdaderamente son las correctas. Esto da origen al desarrollo de procesos de toma de decisión comprensivos que son conocidos dentro de la industria aeronáutica con el

nombre de MSG– 3 y fuera de esta como Mantenimiento Centrado en Confiabilidad o RCM.

Ilustración 12 – Curva de Davies, acciones y tácticas,  $\beta$ eta.



(Mora, 2007a)

No existe ninguna otra técnica dentro de las conocidas en el mantenimiento moderno capaz de determinar la cantidad mínima de tareas seguras que son posibles realizar sobre un equipo para preservar sus funciones.

Una mirada desde la ingeniería para el manejo de cualquier activo físico resalta dos elementos claves, el mantener y el modificar.



Según la definición de mantener, como aquella que formula en conservar o preservar su estado existente y en modificar que contempla cambiarlo de alguna manera para mejorarlo y bajo la premisa de que todo activo físico es puesto en funcionamiento porque existe una necesidad, dicho de otra manera se espera de cumpla una o varias funciones específicas, se plantea la siguiente definición:

Mantenimiento: asegurar que los activos físicos realicen lo que los usuarios quieren que haga.

Los requerimientos de los usuarios dependen del lugar y de qué manera es manipulado el equipo, esto se conoce como contexto operacional y lleva a la siguiente definición de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad o RCM.

Mantenimiento Centrado en Confiabilidad: proceso que se utiliza para determinar qué hacer con el fin de garantizar que cualquier activo continúe realizando las funciones que sus usuarios quieren que haga en su contexto operacional actual.

(Moubray, 2004)

El RCM es una filosofía de gestión de mantenimiento, que sirve de guía para identificar las actividades de mantenimiento con sus respectivas frecuencias a los activos más importantes de un contexto operacional.

Esta no es una fórmula matemática, su éxito se apoya principalmente en el análisis funcional de las fallas de un determinado contexto operacional realizado por un equipo de trabajo multidisciplinario, el cual desarrolla un sistema de gestión de mantenimiento flexible que se adapta a las necesidades de la organización, tomando en cuenta la seguridad personal, el ambiente, las operaciones y la relación costo beneficio (Jones, 1995).

Es un proceso sistemático y estructurado, que consiste en describir las funciones de un equipo, definir sus posibles fallas, plantear la causa que las origina con el fin de analizar sus efectos y dimensionar sus consecuencias, todo esto para encontrar las acciones de mantenimiento costo– efectivas necesarias para prevenir las fallas, logrando así garantizar la confiabilidad de un sistema.

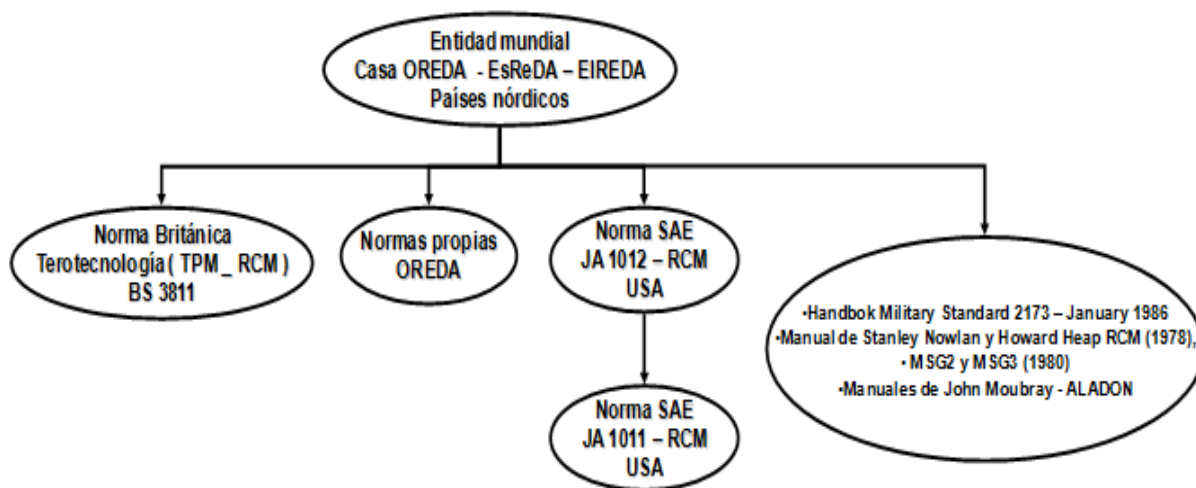
Según Bunny Snellock el RCM es el Mantenimiento que debes hacer para que las instalaciones hagan lo que la Empresa desea que hagan, en otras palabras es la alineación del mantenimiento con la misión de la empresa.

#### 1.4.1 Conceptos técnicos del RCM.

El RCM es una táctica procedimental que basa su esquema de funcionamiento en el permanente cuestionamiento de las actividades de mantenimiento, que sigue un proceso lógico, coherente y normativo, que se ciñe a siete preguntas claves.

Existen varios procedimientos de orden universal que plantean las normas y reglas que rigen la implementación del RCM, en si son procedimientos parecidos, algunos con mayor validez que otros, pero en el fondo apuntan a unos propósitos generales comunes.

Ilustración 13 – Algunas de las normas que gobiernan el RCM.



(Mora, 2012).

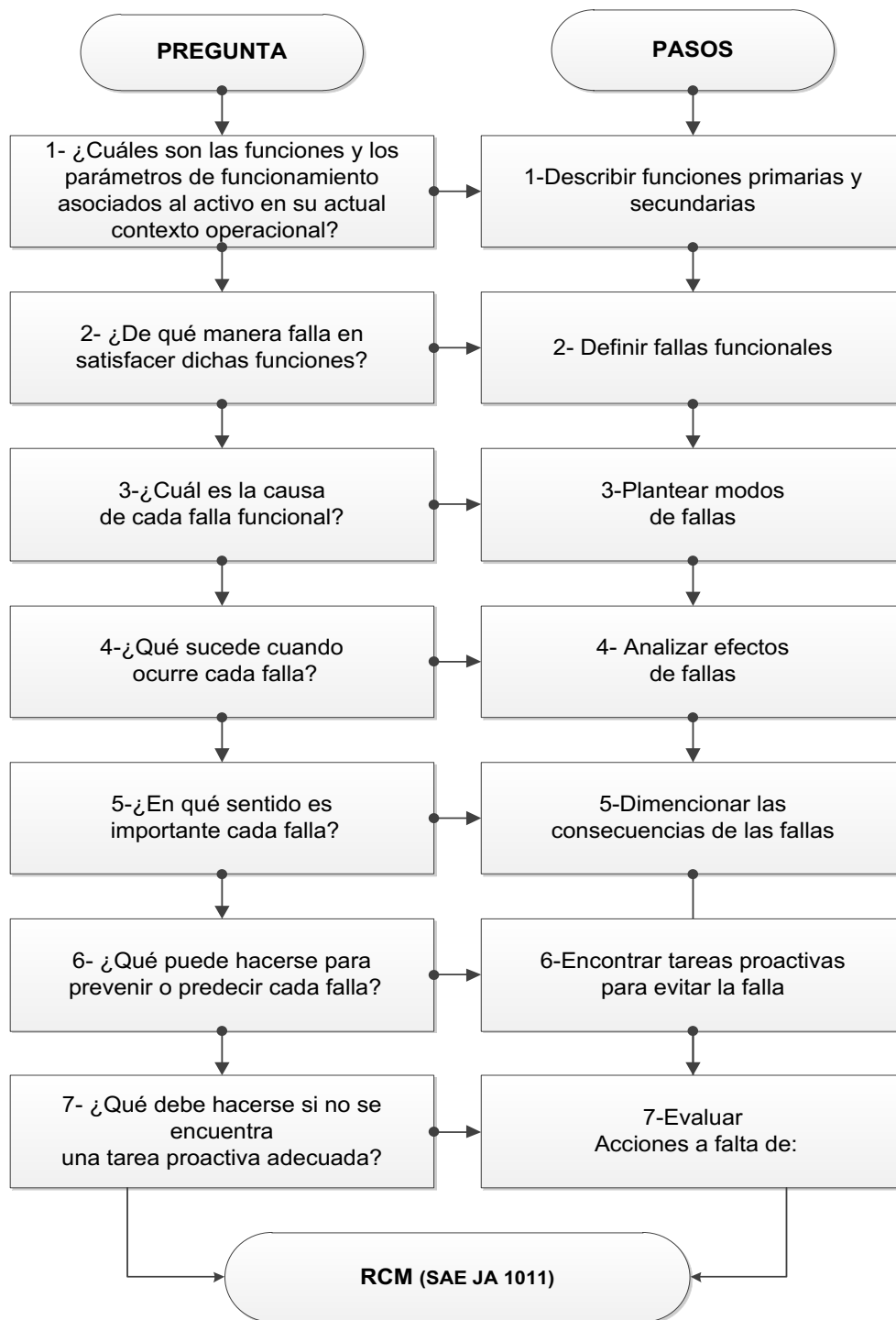
Cualquier proceso RCM asegura que se respondan satisfactoriamente las siguientes siete preguntas, y a su vez también garantiza que se cumpla el orden en que están

planteadas siguiendo una secuencia definida, según la sección 5 de la norma (SAE JA 1011) Criterios de Evaluación para Procesos de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM).

La definición y el orden de los principales fundamentos estratégicos del RCM, se basan en estas siete preguntas básicas:

1. ¿Cuáles son las funciones y los parámetros de funcionamiento asociados al activo en su actual contexto operacional? (Funciones).
2. ¿De qué manera falla en satisfacer dichas funciones? (Fallas funcionales).
3. ¿Cuál es la causa de cada falla funcional? (Modos de falla).
4. ¿Qué sucede cuando ocurre cada falla? (Efectos de la falla).
5. ¿En qué sentido es importante cada falla? (Consecuencias de la falla).
6. ¿Qué puede hacerse para prevenir o predecir cada falla? (Tareas proactivas).
7. ¿Qué debe hacerse si no se encuentra una tarea proactiva adecuada? (Acciones a falta de mantenimiento).

Ilustración 14 – Secuencia lógica de las siete preguntas proceso RCM.



#### 1.4.2 Funciones y parámetros de funcionamiento.

##### 1. ¿Cuáles son las funciones y los parámetros de funcionamiento asociados al activo en su actual contexto operacional? (funciones).

Para responder la primera pregunta, el paso inicial de un proceso RCM consiste en describir las funciones de cada equipo y establecer sus parámetros de funcionamiento de acuerdo al contexto operacional.

Dichas funciones pueden clasificarse en dos grupos:

- **Funciones principales o primarias:** describen la razón del porqué de la adquisición del activo y abarca aspectos propios de este tales como: Velocidad, producción, capacidad de almacenaje o carga, calidad y servicio de entrega al cliente.
- **Funciones secundarias:** esta indica que más se espera del equipo fuera de cubrir las funciones principales, los usuarios también tienen expectativas relacionadas con aspectos de seguridad, higiene, control, confort, contención, integridad estructural, eficiencia operacional, cumplimiento de normas o regulaciones ambientales e incluso apariencia estética del activo.

Estructura gramatical para definir funciones primarias y secundarias:

- Verbo que identifica la acción que desarrolla el equipo.
- Objeto sobre el cual se ejecuta la acción.
- Estándar de funcionamiento deseado por el usuario.
- Condicionantes.

Entendiendo por función, toda actividad o conjunto de actividades que presta determinado equipo para satisfacer una necesidad, si partimos de esta definición es fácil plantear funciones de manera correcta para un análisis RCM, es clave identificar de forma rápida y precisa la función que desempeña el equipo.

Además de esta consideración es también igual de importante definir que se espera del equipo en función de su nivel de capacidad, para el análisis RCM es clave identificar en qué medida el equipo es capaz o no de satisfacer la necesidad para la que fue creado, esto se conoce como estándar de funcionamiento y para plantearlo de manera correcta es necesario considerar los siguientes aspectos.

Consideraciones importantes para describir funciones y parámetros de funcionamiento:

- Identificar la capacidad inicial del equipo, esta se encuentra definida por su diseño y aspectos técnicos de su fabricación.
- Las tareas de mantenimiento solo pueden restablecer las condiciones de funcionamiento del equipo a su nivel de capacidad inicial.
- El nivel de funcionamiento que el usuario espera del equipo no puede exceder la capacidad inicial para la cual se diseñó, para mantener el funcionamiento que se desea, el equipo deberá necesariamente operar dentro de los niveles de capacidad inicial.
- Evitar enunciar parámetros cualitativos, con este tipo de enunciados se dificulta determinar cuando el equipo se encuentra en estado de falla.
- Definir parámetros cuantitativos, establecer parámetros que sean fácilmente medibles o verificables ayuda a determinar de manera rápida y precisa cuando el equipo se encuentra en estado de falla.

- Algunos sistemas presentan estándares de funcionamiento variables, los cuales se analizarán con mayor detenimiento y especial cuidado al incorporar límites inferiores y superiores para los niveles de capacidad.

Estas consideraciones aplican para definir funciones primarias y secundarias.

Las funciones y parámetros de funciones se definen para:

- Entender el por qué y para qué de la adquisición del equipo.
- Identificar las necesidades de los clientes internos.
- Saber que tiene que hacer el equipo para satisfacer su misión.
- Determinar estados de falla.

#### 1.4.2.1 Fallas funcionales.

### **2. ¿De qué manera falla en satisfacer dichas funciones? (Fallas funcionales).**

Para dar respuesta a la segunda pregunta, se inicia negando las funciones que el activo debe de satisfacer, es decir, la manera en que un activo no se desempeñe conforme a los parámetros requeridos, se le conoce con el nombre de falla o anti-función, se requiere un adecuado manejo para identificar que fallas tienen la probabilidad de ocurrir, el proceso RCM lo hace en dos pasos; Inicialmente se trata de identificar las circunstancias que llevaron a la falla y en un segundo lugar evalúa qué eventos ocasionan que el activo falle.

En RCM, los estados de falla se conocen como:

- **Fallas potenciales:** toda condición definida y detectable que me indica que una falla funcional ocurra o está en proceso de materializarse, se manifiestan como síntomas que revelan que se producirá una condición de incapacidad funcional.
- **Fallas funcionales:** todos aquellos eventos que ocasionan que un activo no cumpla una función de acuerdo al parámetro de funcionamiento que el usuario considera aceptable o dicho de otra manera puede entenderse como aquellos estados en los cuales un activo no se encuentra disponible para ejercer una función específica de acuerdo a un nivel de desempeño esperado.

#### 1.4.3 Modos de falla.

### 3. ¿Cuál es la causa de cada falla funcional? (Modos de falla).

Una vez identifica las fallas funcionales, lo siguiente es plantear todos los hechos que de manera lógica causan cada estado de falla, estos hechos se denominan modos de falla, los modos de falla son aquellos que han ocurrido en equipos iguales o similares operando bajo el mismo contexto, fallas que actualmente están siendo prevenidas por intervenciones de mantenimientos planeados, así como fallas desconocidas que no se han materializado pero que según el contexto operacional tienen alta probabilidad de ocurrencia.

Un modo de falla es una condición física específica que causa una falla funcional particular.

Es importante identificar la causa de cada falla con bastante detalle para asegurar no desperdiciar tiempo ni recursos intentando tratar síntomas en lugar de causas reales.



El proceso RCM utiliza el análisis FMEA<sup>14</sup> como herramienta para identificar los modos de falla que sean los causantes de cada falla funcional además de determinar los efectos o consecuencias asociados a cada modo.

Los modos de falla están asociados a seis patrones de desgaste y estos a su vez se encuentran divididos en grupos.

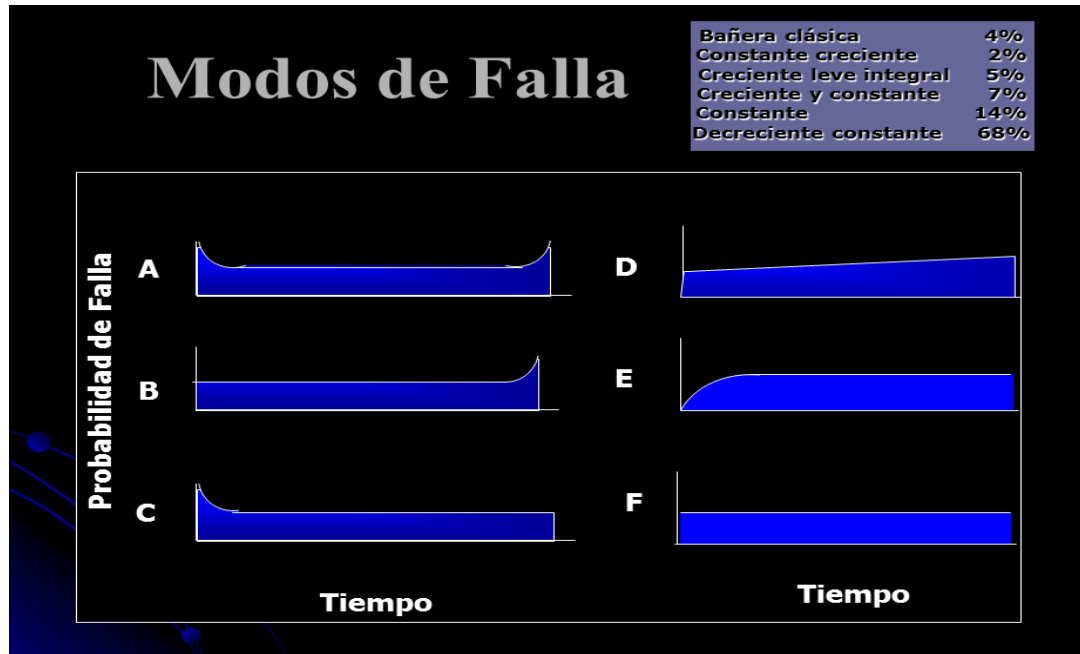
Los patrones A, B y C son fallas asociadas con la edad del equipo, aplican a componentes muy simples o a componentes complejos que padecen de un modo de falla dominante, en la realidad es muy común en equipos que entran en contacto directo con el producto, normalmente estos modos están relacionados a fatiga, corrosión, oxidación y evaporación.

Mientras que los patrones D, E y F son patrones de fallas aleatorias, que presentan un desafío para el mantenimiento moderno ya que muchas fallas se ajustan a estos patrones debido a la combinación de esfuerzos variables que son causados por la operación incorrecta, montajes inadecuados o daños externos, el rasgo más importante de estos patrones radica en que una vez puesto en servicio el equipo hay muy poca relación entre la confiabilidad y la edad operacional, para estos casos la edad del equipo contribuyen poco o nada a reducir las probabilidades de falla.

---

<sup>14</sup> FMEA. Análisis de Fallas, sus Modos y Efectos, del inglés *Failure Modes and Effects Analysis*.

Ilustración 15 – Patrones para modos de falla.



(Moubray, 2004)

### Patrones:

- A)** Conocido como curva de la bañera o curva de Davies, comienza con una gran incidencia de fallas (llamada zona de mortalidad infantil), seguida de un incremento constante o gradual de probabilidad condicional de falla y finaliza con una zona de desgaste acelerado.
- B)** Muestra una probabilidad condicional de falla constante o de lento incremento y finaliza con una zona de desgaste.
- C)** Muestra una probabilidad condicional de falla que crece lentamente, pero no tiene edad de desgaste claramente identificable.

- D)** Cuando el equipo es nuevo o recién salido de fábrica el patrón muestra una baja probabilidad condicional de falla y luego un rápido incremento a un nivel constante.
- E)** Presenta una probabilidad condicional de falla constante para todas las distintas edades del equipo, (fallas al azar).
- F)** Comienza con una alta mortalidad infantil que finalmente cae a una probabilidad constante o de asenso lento.

Estudios en aeronaves comerciales demuestran que un 4% de los elementos corresponden al patrón A, un 2% al B, un 5% al C, un 7% al D, un 14% al E y no menos de un 68% al patrón F. El número de veces que estos patrones ocurren en aeronaves no es necesariamente el mismo que en la industria, pero no cabe duda de que a medida que los elementos se hacen más complejos, encontramos cada vez más patrones E y F.

Este argumento desmiente por completo la creencia que hay una relación entre la confiabilidad y la edad del equipo, negando a su vez también el concepto que mientras más seguido un ítem sea reparado más confiable es, actualmente esto aplica para muy pocos casos y por el contrario demuestra que el hecho de hacer reparaciones puede en realidad aumentar los promedios de tiempos entre fallas al introducir la mortalidad infantil en sistemas que de otra manera serian estables.

(Moubray, 2004)

#### 1.4.4 Efectos de falla.

##### 4. ¿Qué sucede cuando ocurre cada falla? (Efectos de la falla)

Describe lo que sucede cuando ocurre cada modo de falla, a su vez estos permiten analizar la importancia de la falla para identificar fallos críticos y evaluar sus consecuencias.

En este paso se listan los efectos de los modos de fallas, se describe lo que ocurre con cada uno de ellos y se incluye toda la información que sirve de apoyo para el análisis de las consecuencias de dichas fallas:

- Reportes que evidencian el daño que ha producido determinado modo de falla.
- La manera en que este modo de falla supone una amenaza para la seguridad y el medio ambiente.
- De qué manera afecta a la producción y a las operaciones.
- Que daños físicos han sido ocasionados por la falla.
- Que actividades es necesario realizar para reparar la falla.

#### 1.4.5 Consecuencias de las fallas.

##### 5. ¿En qué sentido es importante cada falla? (Consecuencias de la falla)

Dimensionan el impacto que tienen las consecuencias de las fallas, el RCM las clasifica en 4 grupos:

- **Consecuencias de fallas ocultas:** una falla oculta es aquella que no es detectable por los operarios en condiciones normales de funcionamiento, si se produce por sí sola, pero como consecuencia es capaz de aumentar la

probabilidad de falla múltiple lo cual influye considerablemente en el impacto y los costos de la reparación

Estas normalmente no inciden de manera directa pero pueden en algunas ocasiones llegar a producir paradas serias y hasta catastróficas, por lo general están asociadas a sistemas de protección sin seguridad inherente.

- **Consecuencias ambientales y para la seguridad:** se considera que una falla tiene consecuencias para la seguridad si existe la posibilidad de ocasionar lesión o muerte a alguna persona y tiene consecuencias ambientales si infringe alguna normativa o reglamento ambiental, tanto corporativo como regional, incluso de nivel nacional e internacional.
- **Consecuencias operacionales:** se considera que una falla tiene consecuencias para la operación, si esta afecta la producción en aspectos tales como: Cantidad, calidad, entrega, clientes, imagen corporativa y representa costos operacionales además del costo directo que implica la reparación.
- **Consecuencias no– operacionales:** son todas aquellas fallas que no tienen repercusiones en la seguridad ni el medio ambiente, tampoco influyen de manera significativa en la producción, hacen parte de esta categoría las fallas que sólo implican el costo directo de la reparación.
- **Consecuencias económicas:** son el resultado de las anteriores, es decir si las anteriores no actúan entran en activación las consecuencias económicas.

Las consecuencias en RCM son producto de la materialización de las fallas, el RCM las clasifica en dos grupos los cuales se explican a continuación con mayor detalle debido a su importancia.

- **Función evidente:** una función evidente es aquella cuya falla eventualmente e inevitablemente se hará evidente por si sola a los operadores en circunstancias normales.
- **Función oculta:** una función oculta es aquella cuya falla no se hará evidente a los operarios bajo circunstancias normales, si se produce por sí sola.

En relación a estos dos tipos de funciones, existen también fallas evidentes y fallas ocultas definidas principalmente por las consecuencias de falla asociadas a cada tipo de falla, así:

- **Fallas evidentes:** se clasifican en tres categorías de importancia y en orden decreciente:
  - Consecuencias para la seguridad y el medio ambiente.
  - Consecuencias operacionales.
  - Consecuencias no operacionales.
- **Fallas ocultas:** ocurre cuando una función oculta falla, de esta manera se plantea el siguiente cuestionamiento: ¿Será evidente para los operadores la pérdida de función originada por este modo de falla por si sola bajo circunstancias normales? Si la respuesta a esta pregunta es no, entonces se trata de un modo de falla oculto, Pero si la respuesta es sí, es una falla evidente. Nótese que en este contexto, por sí solo, significa que nada más se encuentra en falla, además en este punto del análisis no se hace nada para chequear si la función oculta continua activa. Esto es porque tales chequeos son una forma de mantenimiento programado, y el propósito del análisis es precisamente ver si tal mantenimiento es necesario.

Para evitar o disminuir las consecuencias de las fallas se implementan controles, este tipo de controles en RCM se conocen como dispositivos de seguridad,

- **Dispositivos de seguridad:** la función esencial de estos dispositivos es la de garantizar que las consecuencias de la falla de la función protegida sean mucho menos graves de lo que serían si no hubiera protección.

La existencia de estos controles crea dos tipos de posibilidades de falla, dependiendo de si el dispositivo tiene seguridad inherente o no.

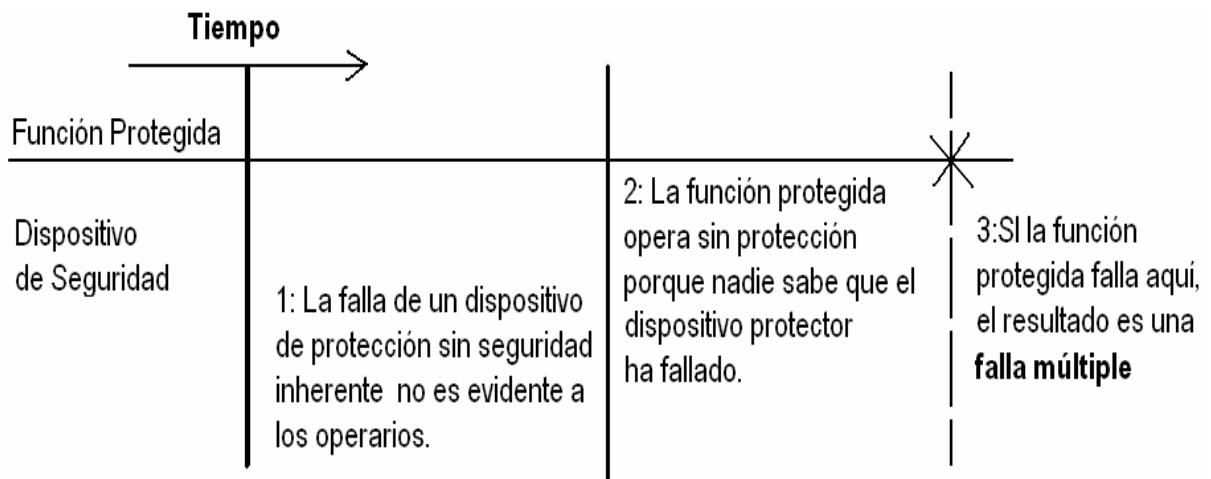
- **Dispositivos de protección con seguridad inherente:** seguridad inherente significa que la falla del dispositivo por si sola se hace evidente para el grupo de operarios bajo circunstancias normales.
- **Dispositivos de seguridad que no cuentan con seguridad inherente:** en un sistema que no cuenta con seguridad inherente, el hecho de que el dispositivo sea incapaz de cumplir su función NO es evidente bajo circunstancias normales.

Solo ocurre una falla múltiple si una función protegida falla mientras que el dispositivo de seguridad se encuentra en estado de falla.

Dado que las consecuencias de la falla múltiple son realmente serias y pueden resultar hasta catastróficas, uno de los objetivos del análisis de fallas es garantizar los esfuerzos para preservar la integridad de la función oculta.

La secuencia de eventos que lleva a una falla múltiple se presenta en la siguiente Figura.

Ilustración 16 – Secuencia lógica de falla múltiple.



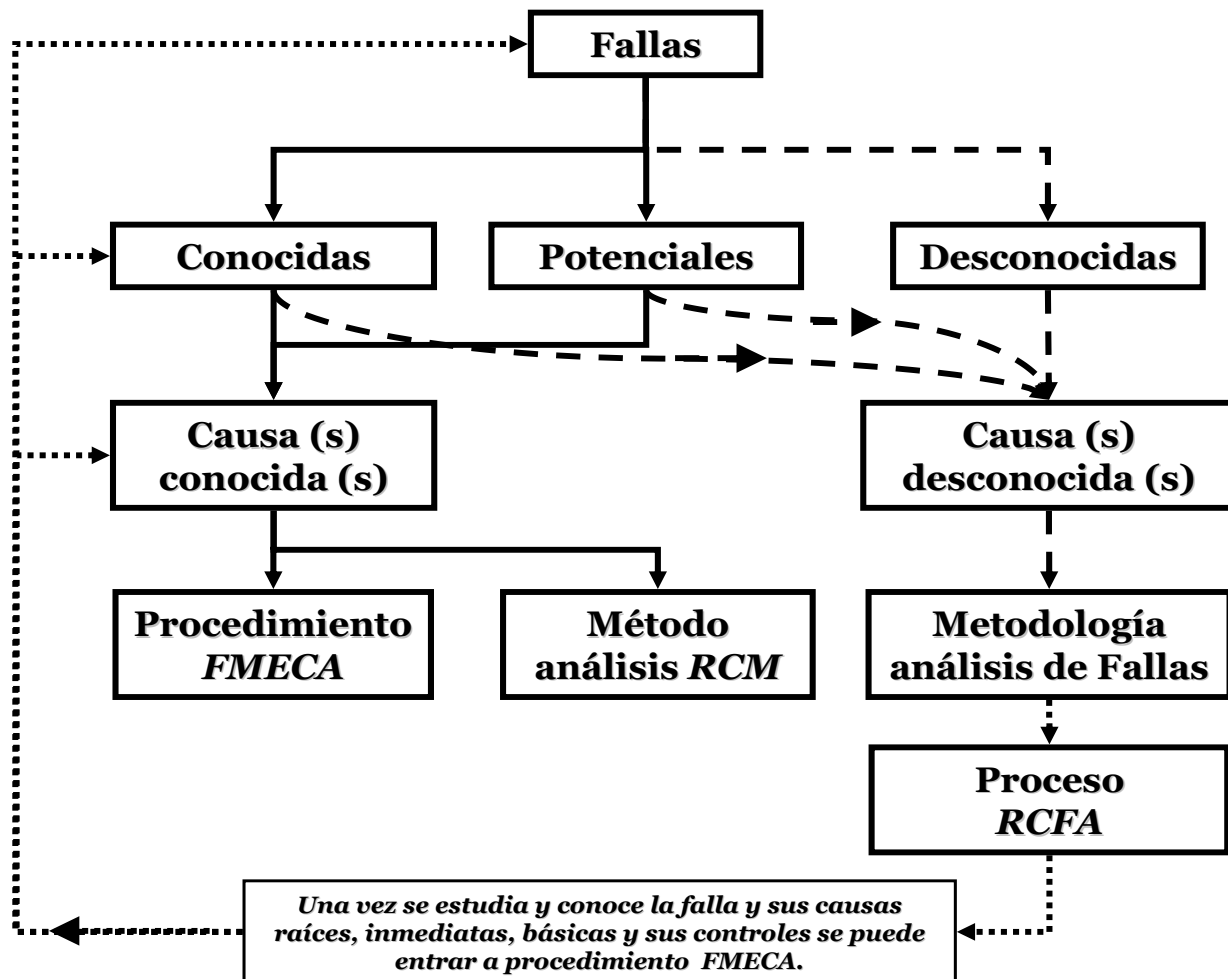
(Moubray, 2004)

Esto lleva a determinar que cuando se desarrollan programas de mantenimiento para funciones ocultas, el objetivo es prevenir la falla múltiple asociada, o al menos reducir la probabilidad de que ocurra.

El propósito de la técnica de análisis de los efectos, los modos y las causas de fallas es poder conocer completamente el equipo entero mediante la identificación de los sistemas y de los componentes que lo conforman, el diseño, los procesos, los elementos y los materiales de fabricación, los ensambles y los sub- ensambles parciales, así como todos los demás aspectos pertinentes que permitan aplicar el análisis integral de fallas (Harris, 1994).



Ilustración 17 – Aplicabilidad de FMECA y RCM según falla y causa.



(Mora, 2014).

#### 1.4.6 Tareas proactivas.

### 6. ¿Qué puede hacerse para prevenir o predecir cada falla? (Tareas proactivas)

Consiste en encontrar las tareas de mantenimiento proactivas que sean costo-eficaces capaces de prevenir las fallas.

Cuando las consecuencias de las fallas son de magnitudes considerables, algo debe de hacerse para prevenirlas, predecirlas o al menos minimizar sus consecuencias.

Las tareas proactivas son todas aquellas actividades que se realizan antes de que la falla se materialice y se implementan con el objetivo de evitar que el componente llegue a su estado de falla, el RCM divide las tareas proactivas en tres categorías y estas se conocen con los términos técnicos de: reacondicionamiento cíclico, sustitución cíclica y mantenimiento basado en condición, estas actividades abarcan lo que comúnmente se conoce como mantenimiento predictivo y preventivo.

- **Tareas de reacondicionamiento cíclico:** conjunto de reparaciones que se realizan siguiendo un patrón de tiempo, sin importar el estado en que se encuentra el elemento.
- **Tareas de sustitución cíclica:** conjunto de cambios que se realizan siguiendo un patrón de tiempo, sin importar el estado en que se encuentra el elemento.
- **Tareas a condición:** se llaman de esta manera porque los componentes se dejan en servicio a condición de que continúen alcanzando los parámetros de funcionamiento deseados.

Las nuevas técnicas en su mayoría operan bajo el principio de que toda falla antes de materializarse da algún tipo de advertencia, dichas advertencias se conocen en RCM como fallas potenciales y se describen como condiciones físicas detectables que indican que una falla funcional está a punto o en proceso de ocurrir. Las técnicas modernas se utilizan actualmente para detectar fallas potenciales y así permitir el anticipo oportuno evitando las posibles consecuencias que surgen si se transforman en fallas funcionales.

La siguiente figura ilustra lo que sucede en las etapas finales de la falla, se le llama la curva P– F, porque muestra como comienza la falla, como se deteriora al punto que puede incluso llegarse a su detección (punto P) y luego, si no es detectada o corregida, continua deteriorándose generalmente a una tasa acelerada hasta que llega al punto de falla funcional (F).

El punto del proceso de la falla en el que es posible detectar si la falla está ocurriendo o si está a punto de ocurrir se le conoce como falla potencial.

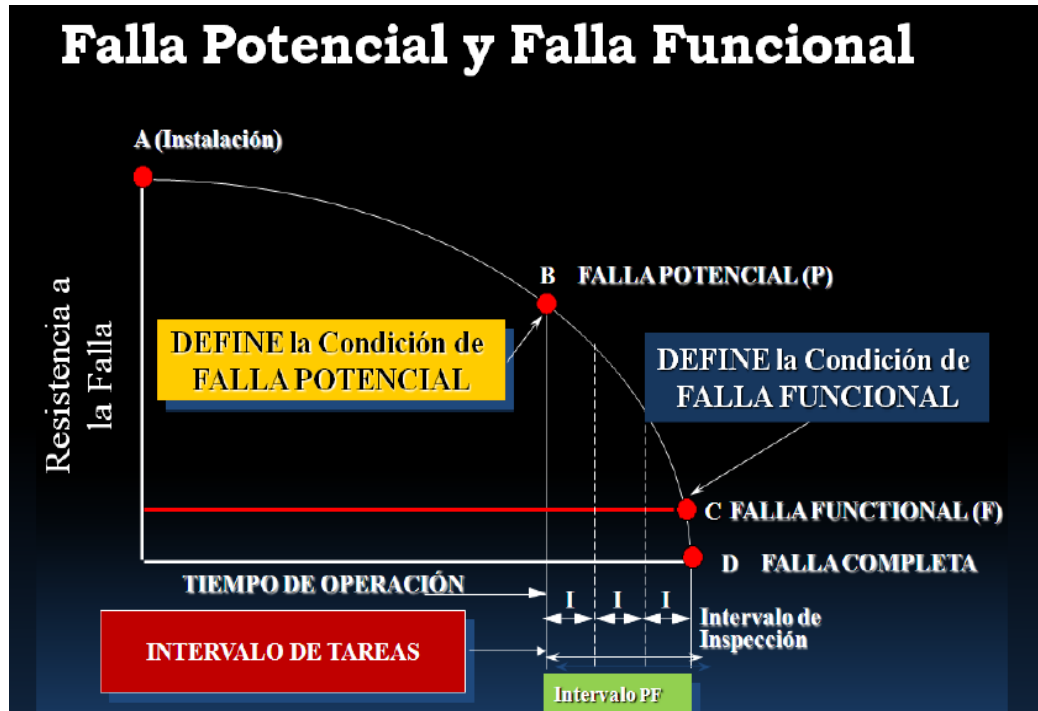
Las tareas a condición consisten en chequear si hay fallas potenciales, esto con el objetivo de prevenir la falla funcional y así evitar o minimizar las consecuencias de esta.

Algunas de las tareas a condición más conocidas son: Monitoreo de vibraciones, inspección con ultrasonidos, termografías, líquidos penetrantes, termografía y análisis de lubricantes.

El intervalo P– F nos indica con qué frecuencia debemos de realizar las tareas a condición si lo que se quiere es detectar la falla potencial antes de que se convierta en falla funcional, de este modo las tareas a condición se programan a intervalos menores que el intervalo P– F.

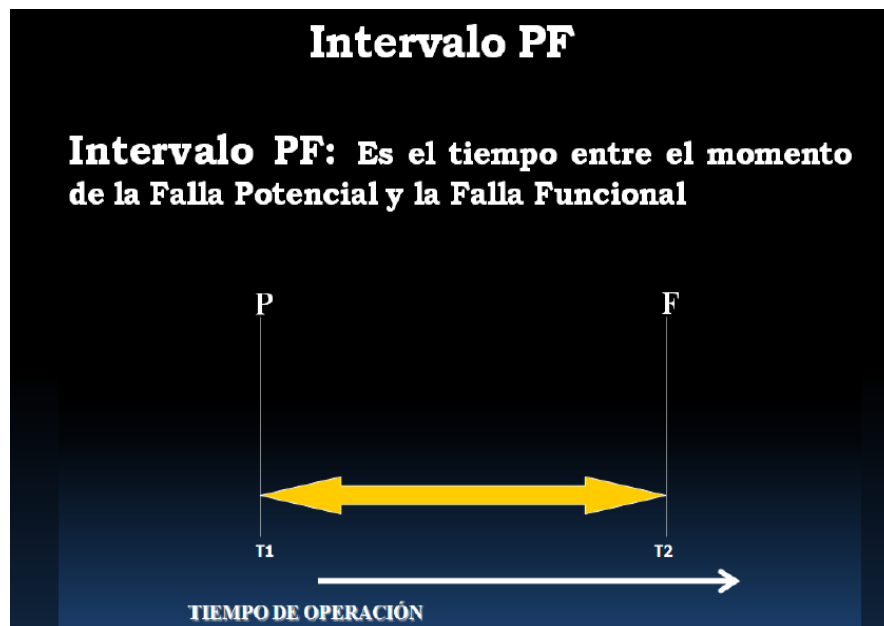
El intervalo P– F también es conocido como el periodo de advertencia, el tiempo que transcurre hasta que se materializa la falla, o el periodo de desarrollo de la falla, puede ser medido en cualquier unidad que proporcione una indicación del nivel de esfuerzos ( horas de servicio, unidades producidas, ciclos de arranque, parada o número de conmutaciones) por motivos prácticos la mayoría de ocasiones es medido como el tiempo transcurrido, este varía según la escala de segundos a años dependiendo de los modos de falla analizados.

Ilustración 18 – Curva P– F.



(Moubray, 2004)

Ilustración 19 – Intervalo P– F.



(Moubray, 2004)

Es posible afirmar que si se realiza una tarea a condición a intervalos fijos mayores que el intervalo  $P - F$  existe la probabilidad de que pasemos desapercibidos la falla y en caso contrario si realizamos la misma tarea a intervalos  $P - F$  menores se incurre en despilfarros innecesarios de recursos.

En la práctica generalmente basta con seleccionar una frecuencia de tarea igual a la mitad del intervalo  $P - F$ . Esto asegura que la inspección detecte la falla potencial antes que ocurra la falla funcional mientras que provee en la mayoría de los casos una cantidad de tiempo razonable para hacer algo al respecto.

#### 1.4.7 Acciones a falta de mantenimiento

### 7. ¿Qué debe hacerse si no se encuentra una tarea proactiva adecuada?

**Acciones a falta de:** es necesario evaluar que otro tipo de acciones se implementa para evitar la falla o minimizar las consecuencias que esta representa cuando las tareas proactivas no son eficaces, para este nivel el RCM plantea las Acciones a falta de y las clasifica en tres categorías.

- **Tareas de búsqueda de fallas:** consiste en revisar funciones periódicamente para determinar si algún componente se encuentra en estado de falla. Es importante considerar si no es evidente el fallo bajo circunstancias normales. Sólo se realiza si la búsqueda de fallos asegura la disponibilidad de la función oculta.
- **Rediseño:** implica realizar cambios a las capacidades iniciales de un sistema, también incluye modificar componentes o sub- sistemas del equipo, además de los cambios en sus protocolos y procedimientos de operación, el rediseño busca:
  - Mejorar la confiabilidad y la mantenibilidad.

- Reducir las causas de falla.
  - Revisar viabilidad, análisis costo – efectividad.
- **Ningún mantenimiento programado:** como su nombre lo indica no se realiza ninguna actividad o esfuerzo para anticipar o prevenir modos de falla, simplemente se dejan que estas ocurran para luego reparar, también se conoce con el termino de mantenimiento a rotura o *run to failure*, los aspectos a evaluar son los siguientes:
- La falla no representa ningún riesgo.
  - No es significativo el costo de su reparación.
  - La falla no es posible prevenirla, costo – efectividad es tolerable y es evidente.
  - La búsqueda de falla no es costo – efectividad ni es posible.

#### 1.4.8 Etapas de la implementación del RCM.

La puesta en marcha de un programa de mantenimiento basado en RCM contempla las siguientes etapas:

##### 1.4.8.1 Grupos de realización y revisión.

El proceso del RCM está enmarcado en siete preguntas básicas, de las cuales el personal de mantenimiento no tiene la información necesaria para contestar a todas. Esto debido a que muchas de estas respuestas están en manos del personal operativo o el de producción especialmente en las preguntas relacionadas con el funcionamiento deseado, los efectos de las fallas y las consecuencias de los mismos.

Por esta razón la revisión de los requerimientos del mantenimiento de cualquier equipo debe de realizarse en pequeños grupos de trabajo conformado por lo menos con una

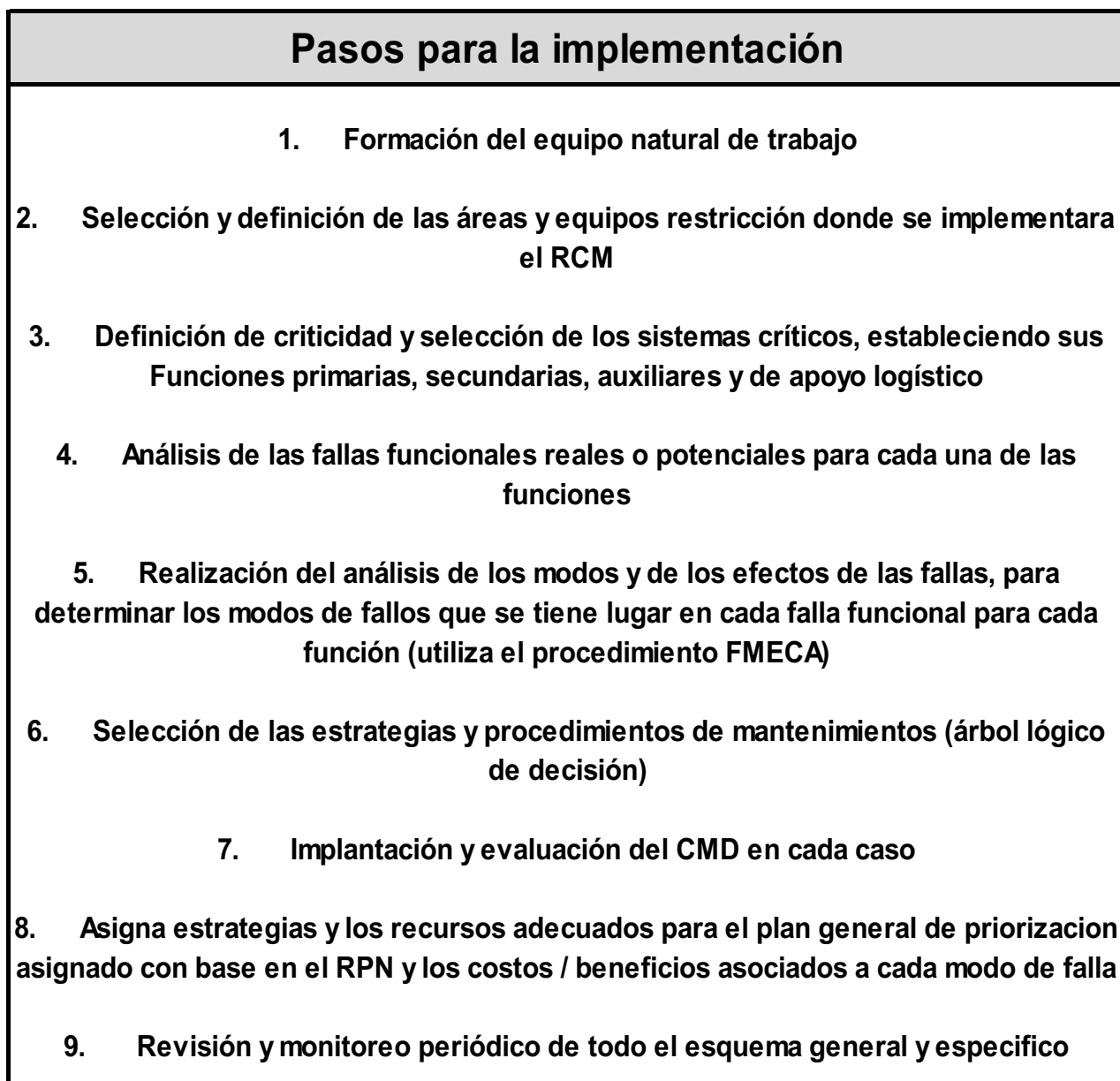
persona de la función del mantenimiento y otra de la función de operaciones ambos con amplio conocimiento y funcionamiento de los sistemas, es indispensable que todos los miembros reciban entrenamiento en RCM

Ilustración 20 – Etapas en la implementación global del RCM.

<b>1 - Planeacion</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Activos físicos a trabajar bajo RCM.</li> <li>2. Definir recursos físicos y humanos requeridos.</li> <li>3. Definir cronograma de entrenamiento, realización, análisis, fecha y lugar de las Personas.</li> <li>4. Estudiar integral y específicamente cada activo.</li> </ol>
<b>2 - Grupos de Realización y Revisión</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Debe haber personal de operación, mantenimiento e ingeniería de fabricas y de otras dependencias que soporten el proceso.</li> <li>2. Los núcleos grupos primarios deben al menos tener seis personas: ingeniero supervisor de mantenimiento, ingeniero supervisor de producción, operario, mantenedor, experto externo y facilitador (preferiblemente externo).</li> </ol>
<b>3 - Facilitadores</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Análisis exhaustivo y excluyente con todo: funciones fallas, funcionales, modos de falla, tareas, etc. En todos los equipos críticos y elementos claves.</li> <li>2. RCM entendido por todos.</li> <li>3. Método del Vaticano por consenso en forma rápida y ágil, con dosis motivacional.</li> <li>4. Calendario de trabajo con cumplimiento.</li> </ol>
<b>4 - Resultados de análisis RCM</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Planes de mantenimiento y reparaciones a ser efectuados.</li> <li>2. Rediseño de procesos de operación, validados, entendidos y practicados por quienes ejecutan.</li> <li>3. Involucrar los mantenimientos en el CMMS o programas manuales.</li> <li>4. Tareas descritas a cabalidad con conocimiento de causa de quienes las practican y practicarán,</li> <li>5. Modificaciones, con cálculos y estudios, responsables y fechas</li> <li>6. Control de seguimiento de tareas y operaciones nuevas o rediseñadas en frecuencia.</li> </ol>
<b>5 - Auditoria e implementación</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Revisión integral de nivel gerencial por cada activo terminado.</li> <li>2. Auditoria, costos, CMD.</li> <li>3. Revisión a la luz de las normas internacionales SAE JA1011, SAE JA1012, OREDA, Military Standard 2173 y British Norm Standard 3188.</li> <li>4. Beneficios, limitaciones, cambios y su nueva aplicación.</li> <li>5. Revisión cada dos años de los activos con modificación o cambios en calidad repuestos, bajo control de la curva de Davies o de la Bañera</li> </ol>

(Mora, 2007b)

Ilustración 21 – Pasos de aplicación del RCM.

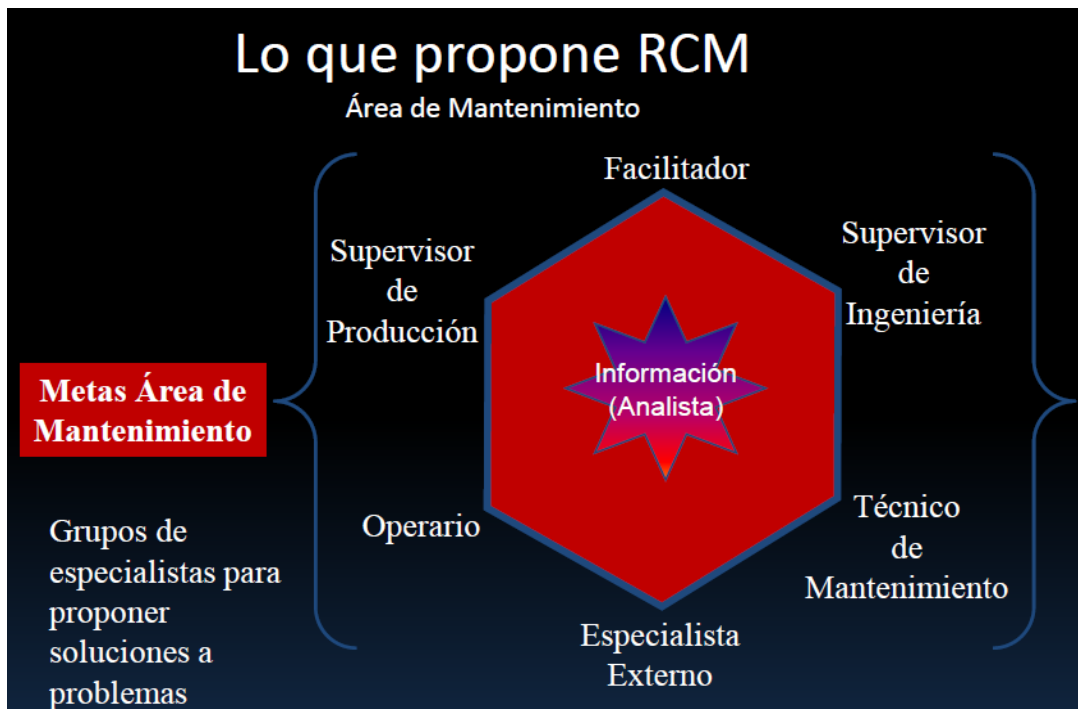


(Mora, 2012).

La conformación de estos grupos multidisciplinarios facilita el acceso al conocimiento, ayuda a incrementar el entendimiento del equipo y el de su contexto operacional, crea un ambiente altamente crítico además de permitir la interacción con los directivos.



Ilustración 22 – Grupos de revisión RCM.



(Moubray, 2004).

#### 1.4.8.2 Facilitadores.

Los grupos de revisión, trabajan bajo la tutoría de un especialista formado en RCM este recibe el nombre de facilitador, desempeña el papel más importante dentro del proceso de revisión y su rol es asegurar que:

- El análisis RCM se realice al nivel correcto, que los límites del sistema, sean claramente definidos, verificar que ningún aspecto importante sea omitido y que los resultados de los análisis sean debidamente registrados.
- Los conceptos del RCM sean claramente entendidos todos los miembros del grupo además de ser correctamente aplicados.

- El grupo llegue al consenso de forma rápida y organizada, manejar y promover el entusiasmo.
- El análisis progrese razonablemente y dentro de los tiempos estimados.

Los facilitadores también trabajan con los directores del proyecto para asegurar que cada análisis sea debidamente planeado, cuente con los recursos disponibles además del apoyo logístico y directivo.

Ilustración 23 – Responsabilidades de los facilitadores:

COMPETENCIAS Y HABILIDADES DE LOS FACILITADORES	
APLICAR LA LOGICA RCM	
DIRIGIR EL ANALISIS	PREPARAR LAS REUNIONES
	SELECCIONAR LOS NIVELES DE ANALISIS/DEFINIR LOS LIMITES
	TRATAR APROPIADAMENTE LOS MODOS DE FALLA COMPLEJOS
	SABER CUANDO DEJAR DE LISTAR MODOS DE FALLA
	INTERPRETAR Y REGISTRAR LAS DECISIONES CON UN MINIMO LENGUAJE TECNICO
	RECONOCER CUANDO EL GRUPO NO SABE
	EVITAR LOS INTENTOS DE REDISEÑAR EL ACTIVO DURANTE LAS REUNIONES DE RCM
	COMPLETAR LAS HOJAS DE TRABAJO RCM
	PREPARAR UN ARCHIVO DE AUDITORIA
	INGRESAR LOS DATOS DE RCM EN UNA BASE DE DATOS COMPUTARIZADA
CONDUCIR LAS REUNIONES	PREPARAR LA ESCENA
	LA CONDUCTA DEL FACILITADOR
	EJECUTAR EN ORDEN LAS PREGUNTAS RCM
	ASEGURAR QUE CADA PREGUNTA SE COMPRENDA CORRECTAMENTE
	ALENTAR A QUE PARTICIPE CADA MIEMBRO DEL GRUPO
	RESPONDER LAS PREGUNTAS
	ASEGURAR EL CONSENSO
	MOTIVAR AL GRUPO
	MANEJAR LA INTERRUPCIONES APROPIADAMENTE
	ORIENTAR AL GRUPO O A LOS MIEMBROS ADECUADAMENTE

<b>CONducir las Reuniones</b>	ALENTAR A QUE PARTICIPE CADA MIEMBRO DEL GRUPO
	RESPONDER LAS PREGUNTAS
	ASEGUARAR EL CONSENSO
	MOTIVAR AL GRUPO
	MANEJAR LA INTERRUPCIONES APROPIADAMENTE
	ORIENTAR AL GRUPO O A LOS MIEMBROS ADECUADAMENTE
<b>ADMINISTRAR EL TIEMPO</b>	RITMO DE TRABAJO
	CANTIDAD TOTAL DE REUNIONES EFECTUADAS
	FECHA REAL DE FINALIZACION CONTRA LA FECHA OBJETIVO
	TIEMPO EMPLEADO PARA PREPARAR LA AUDITORIA
	TIEMPO FUERA DE LAS REUNIONES
<b>ADMINISTRAR LA LOGISTICA E INTERACCION CON LOS NIVELES SUPERIORES</b>	PREPARAR EL PROYECTO RCM COMO UN TODO
	PLANEAR EL PROYECTO
	COMUNICAR LOS PLANES
	EL LUGAR DE LA REUNION
	COMUNICAR LOS HALLAZGOS URGENTES
	COMUNICAR LOS PROGRESOS
	ASEGUARAR QUE SE AUDITEN LAS HOJAS DE TRABAJO RCM
	PRESENTACION A LA GERENCIA SUPERIOR
	IMPEMENTACION
	UN PROGRAMA VIVIENTE

(RCMScorecard@, 2005).

#### 1.4.8.3 Resultados del RCM.

El RCM al igual que muchas de las tácticas de mantenimiento logra importantes resultados los cuales empiezan a verse incluso desde los primeros pasos de la implementación pero es solo con el seguimiento y mejora continua que estos realmente impactan y perduran en la organización.

Si se aplica correctamente un análisis RCM entrega tres resultados tangibles:

- Planes de Mantenimiento.
- Procedimientos de operación validados.
- Listado de rediseños.

Adicionalmente todo proceso RCM trae involucrado con su implementación otros muchos beneficios a la organización:

Ilustración 24 – Beneficios RCM.

Calidad	Tipo de Servicio	Costo	Tiempo	Riesgo
Aumenta la disponibilidad en al menos un 8%, por el sólo hecho de implementar.	Proporciona un mejor clima organizacional para el trabajo en equipo.	Reduce los niveles de mantenimiento en al menos un 40%.	Mejora los tiempos medios de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad al menos en un 25%.	Brinda seguridad e integridad ambiental en todo el desarrollo del proceso, a niveles muy superiores de los que se tienen antes de implementarlo.
Elimina las fallas crónicas y elimina las causas raíces.	Ayuda a atender mejor las necesidades y los requerimientos de los clientes.	Optimiza los programas de mantenimiento.	Aumenta los tiempo de funcionalidad de los equipos al menos en un 150% en promedio.	Las fallas con consecuencias sobre el medio ambiente o la seguridad son las que mas se atacan y eliminan.
Aumenta la flexibilidad operacional.	Disminuye las paradas imprevistas.	Reduce los costos planeados o no de mantenimiento al menos en un 40%.	Reduce o elimina los tiempos de demora en suministros o búsqueda de recursos o repuestos.	Reduce al mínimo la posibilidad de fallas en cadena o superpuestas.
La programación de mantenimiento se basa en hechos reales.	Genera un ambiente de investigación y desarrollo alrededor de los análisis de fallas.	Alarga la vida de los equipos para propósitos especiales.	Jerarquiza las actividades de mantenimiento, logrando su reducción en el tiempo.	Su razón de calificación al riesgo la hace como una de las tácticas más seguras.
Proporciona el completo conocimiento de las fallas reales y potenciales de la maquinas, así como de sus causas.		Todas las actividades de mantenimiento se analizan en un contexto de costo / beneficio.		

(Mora, 2007a).

#### 1.4.8.4 Auditoría e implementación.

Inmediatamente después de haber completado la revisión:

- Auditar la hoja de decisión.
- Actualizar la descripción de las tareas de rutina.
- Identificar los cambios a realizar.
- Incorporar la descripción de las nuevas tareas de rutina.
- Implementar sistemas y controles para garantizar la ejecución de las actividades.

#### 1.4.8.5 Como no aplicar RCM.

Todo proceso de implementación RCM aplicado de la manera correcta muestra resultados muy rápido, pero existe también la posibilidad de que los resultados sean pocos o nulos, algunas de las razones por lo que esto ocurre se nombran a continuación:

- El análisis se realiza a un nivel muy básico.
- Una implementación demasiado apurada o superficial.
- Demasiado énfasis en los datos de fallas.
- Falta de capacitación.
- Bajo sentido de pertenencia con la organización o el proceso.
- Implementaciones realizadas solo por el personal de Mantenimiento.
- Utilizar de terceros o externos para la implementación.

## 1.5 CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO 1

- La implementación de un programa RCM, obedece a objetivos estratégicos claros, los cuales necesitan un enfoque y alcance bien definido acerca de lo que se espera del programa.
- El acompañamiento de la dirección debe permanentemente brindar apoyo desde el inicio, durante las fases de implementación y hasta su sostenimiento.
- En el momento en que se desvincule esta relación el programa pierde su norte y tiende al fracaso, esto independiente de la fase en que se encuentre.
- El RCM nace inicialmente dentro de los estrictos requisitos de la industria de la aviación comercial, caracterizada por sus altos estándares de confiabilidad y sus exigentes políticas en gestión del mantenimiento, dando excelentes resultados en la disminución de fallas, resultados que es posible alcanzar fácilmente en el sector industrial con implementaciones no tan rígidas y tan detalladas como las del contexto aeronáutico.
- La aplicación del RCM a nivel industrial de igual manera representa fuertes exigencias de confiabilidad y seguridad, es por estos motivos que en industrias de diferentes sectores donde se justifica el uso de procedimientos avanzados, excelente gestión en las buenas prácticas de manufactura y donde se requiere garantizar altos estándares en el mantenimiento del equipamiento son llamadas a realizar implementaciones de RCM en sus plantas.
- El RCM involucra y fortalece a toda la organización, este es incluyente, basado en la formación, capacitación y promoción del conocimiento técnico, diseñado en un marco estratégico de competencias y búsqueda de resultados que conlleven al desarrollo del talento humano.

## **2. LÓGICA DECISIONAL RCM II**

### **2.1 OBJETIVO 2**

Relatar el flujograma decisional del RCM con el fin de garantizar la funcionalidad de los equipos. – Nivel 2 – Comprender.

### **2.2 INTRODUCCIÓN**

En este capítulo, se mencionan los criterios más importantes sobre la lógica de decisional del RCM II, también se describen los conceptos técnicos para realizar el diligenciamiento del formato, se integra el diagrama de decisión y la hoja de decisiones como herramientas para estructurar las acciones de mantenimiento enfocadas hacia mejorar la confiabilidad de los equipos.

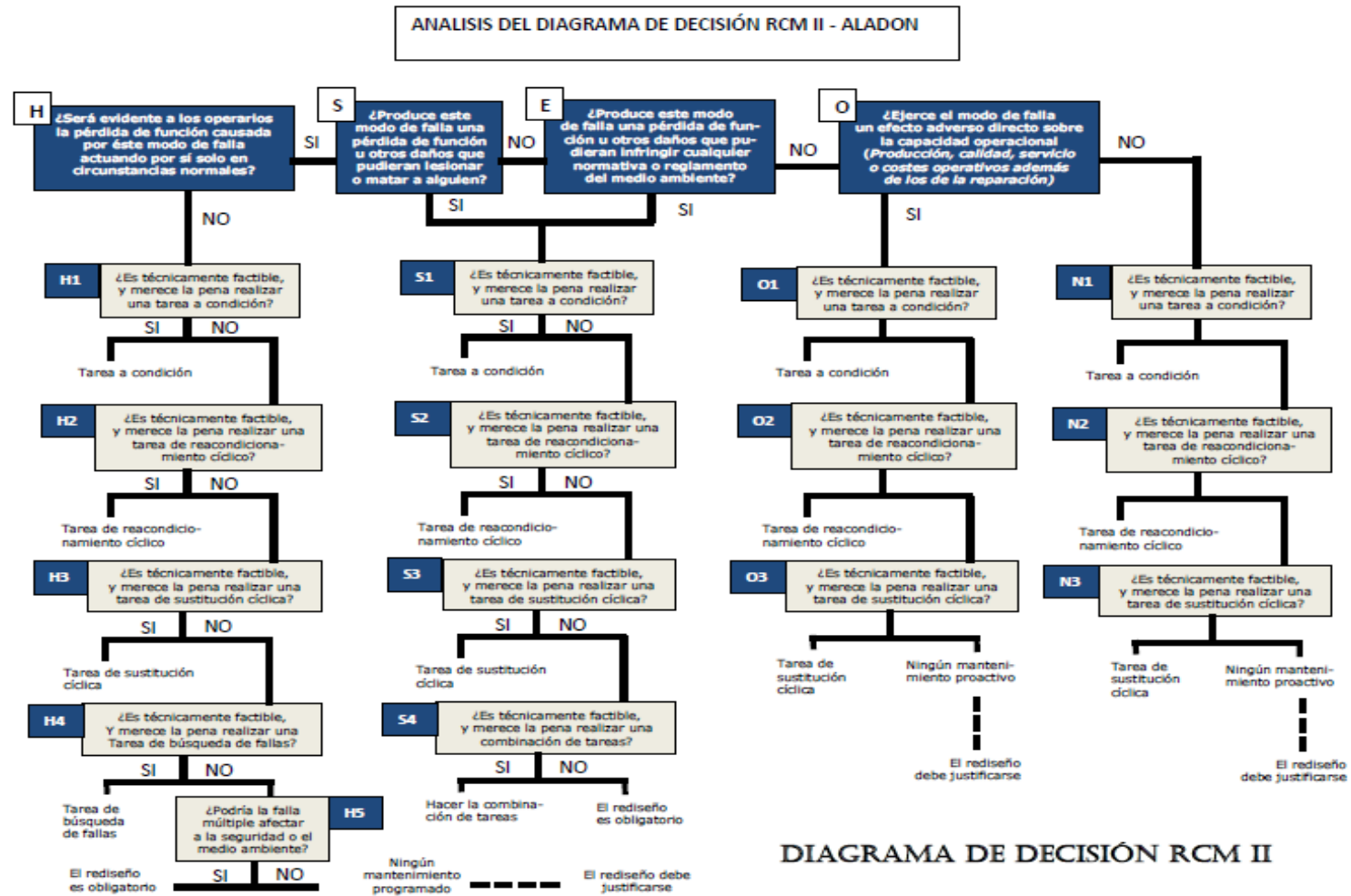
### **2.3 DECISIÓN LÓGICA RCM**

Proceso mediante el cual se determinan las acciones de mantenimiento técnicamente factibles para minimizar o eliminar las consecuencias derivadas de la ocurrencia de una falla funcional.

#### **2.3.1 Diagrama decisional de RCM II.**

Es un diagrama de flujo que resume los criterios más importantes e integra todos los procesos de decisión en una estructura estratégica única, mediante el cual se aplica la lógica decisional a cada uno de los modos de falla listados en la hoja de información RCM con el fin de detectar en que instancias y con qué medidas se puede evitar o minimizar las consecuencias.

Ilustración 25 – Diagrama de Decisión RCM II



(Moubray, 2004)



Mediante este proceso se valoran las consecuencias del modo de falla analizado, a medida que realizamos las preguntas en el diagrama obtenemos respuestas afirmativas y negativas, cualquiera de las dos respuestas define una trayectoria a seguir dentro del diagrama, en este punto es importante tener claro que cada modo de falla es ubicado en solo una categoría de consecuencias, y una vez que las consecuencias han sido categorizadas el próximo paso es buscar una tarea proactiva adecuada, teniendo en cuenta el concepto de que toda tarea debe ser técnicamente factible y merece la pena realizarla.

### 2.3.2 Selección de tareas en RCM.

A continuación se plantean los criterios técnicos que se evalúan a través del diagrama de decisión RCM para la selección de tareas.

Si una tarea proactiva es técnicamente factible o no, está determinado por las características técnicas de dicha tarea y de la falla a evitar, si es viable hacerla o no depende de la manera en que esta maneja las consecuencias de la falla.

Cuando no se halla una tarea proactiva que sea técnicamente factible y que valga la pena hacerse, se implementara una acción a falta de adecuada.

Las tareas proactivas según esta lógica son solo definidas para las fallas que realmente lo ameritan, lo cual disminuye de manera considerable el número de rutinas, esto a su vez aumenta las probabilidades que las tareas seleccionadas se realicen de forma correcta y la suma de ambos factores nos produce un mantenimiento más efectivo.

- **Para fallas ocultas:** una tarea proactiva vale la pena realizarse si reduce de manera significativa el riesgo de falla múltiple asociado con esa función a un nivel aceptablemente bajo, si esto no es posible se implementa una tarea de búsqueda de falla, de no hallarse una tarea de búsqueda de falla adecuada, la decisión a falta de secundaria indica que el componente deberá rediseñarse, esto dependiendo de las consecuencias de la falla múltiple.

- **Para fallas con consecuencias en la seguridad y en el ambiente:** una tarea proactiva vale la pena realizarse si por si misma reduce el riesgo a un nivel demasiado bajo o lo elimina directamente, si no se encuentra una tarea que cumpla estas condiciones el componente será rediseñado.
- **Para fallas que tiene consecuencias en la operación:** una tarea proactiva vale la pena si el costo de realizarla a lo largo de un periodo de tiempo es menor al costo de las consecuencias en la operación más el costo de la reparación en el mismo periodo de tiempo, es el costo quien determina la viabilidad de la tarea, si no se justifica la decisión a falta de es ningún mantenimiento programado, si por cualquier motivo las consecuencia no son aceptables la decisión a falta de secundaria es el rediseño.
- **Para fallas que no tienen consecuencias operacionales:** solo vale la pena realizar una tarea proactiva si el costo de esta a lo largo de un periodo de tiempo es menor al costo de la reparación en el mismo periodo de tiempo, es necesario justificar estas tareas en el aspecto económico, si no se justifica la decisión a falta de es ningún mantenimiento programado, si los costos son demasiado altos la decisión a falta de secundaria es el rediseño.

Ilustración 26 – Diagrama de flujo de la toma de decisiones.

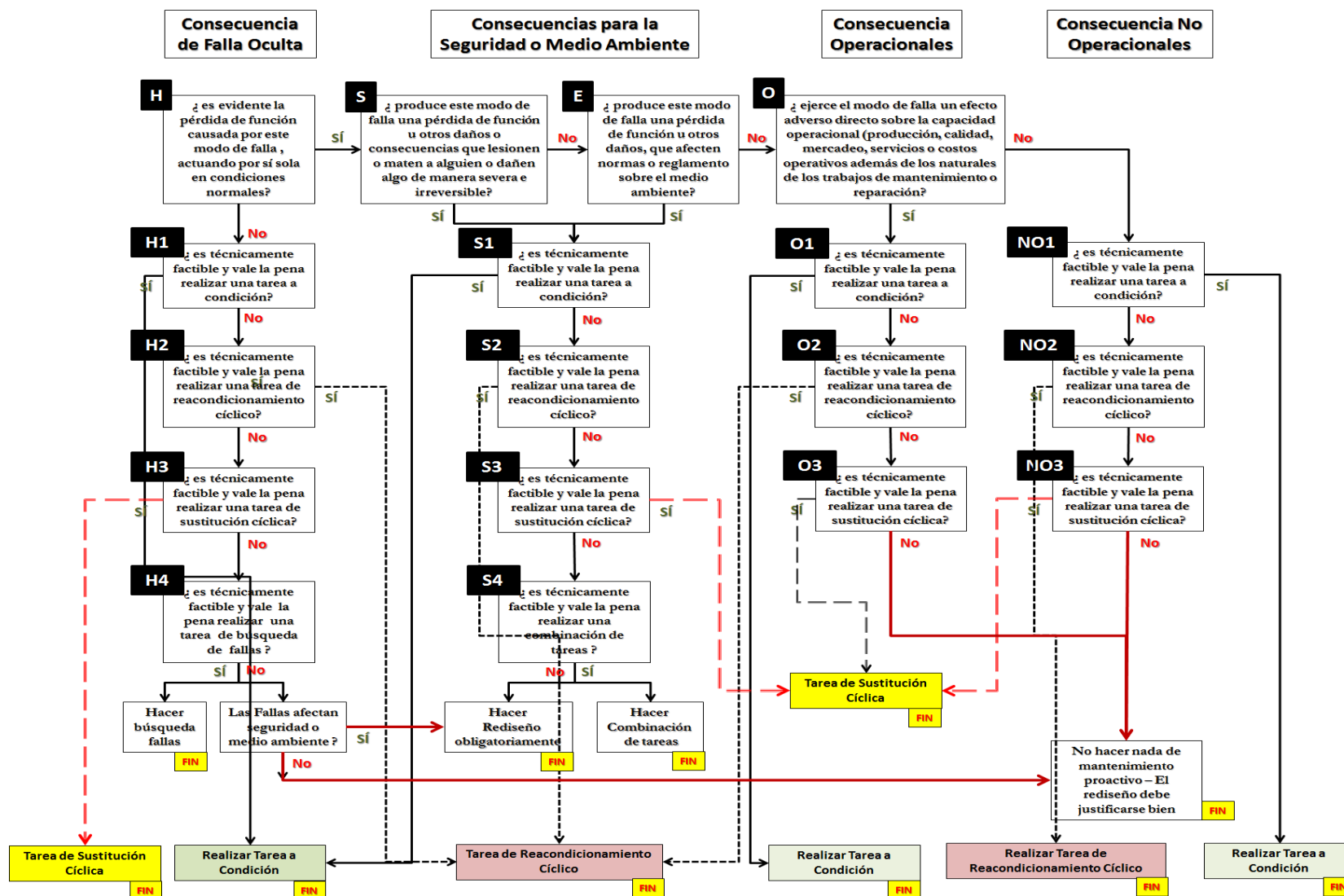
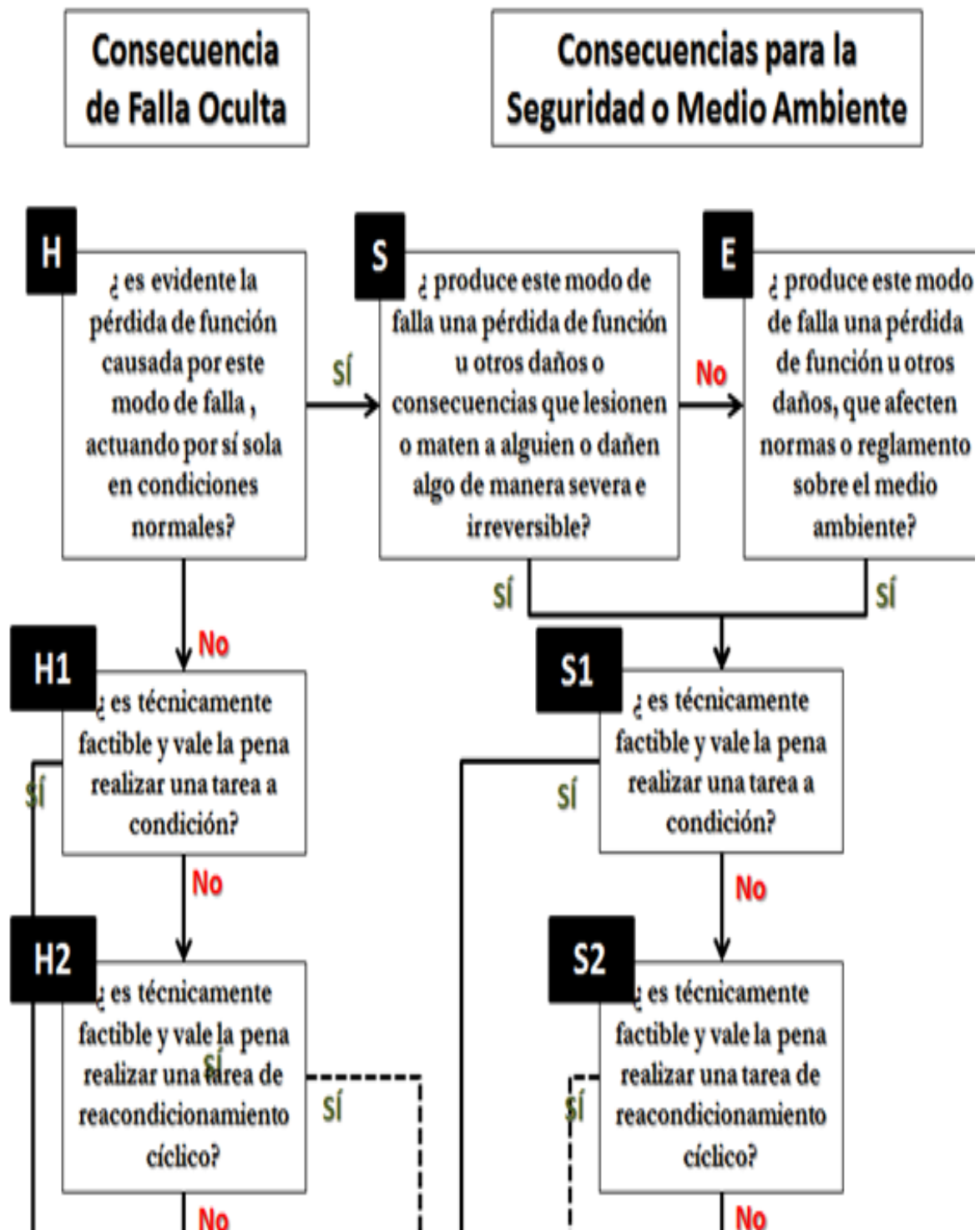
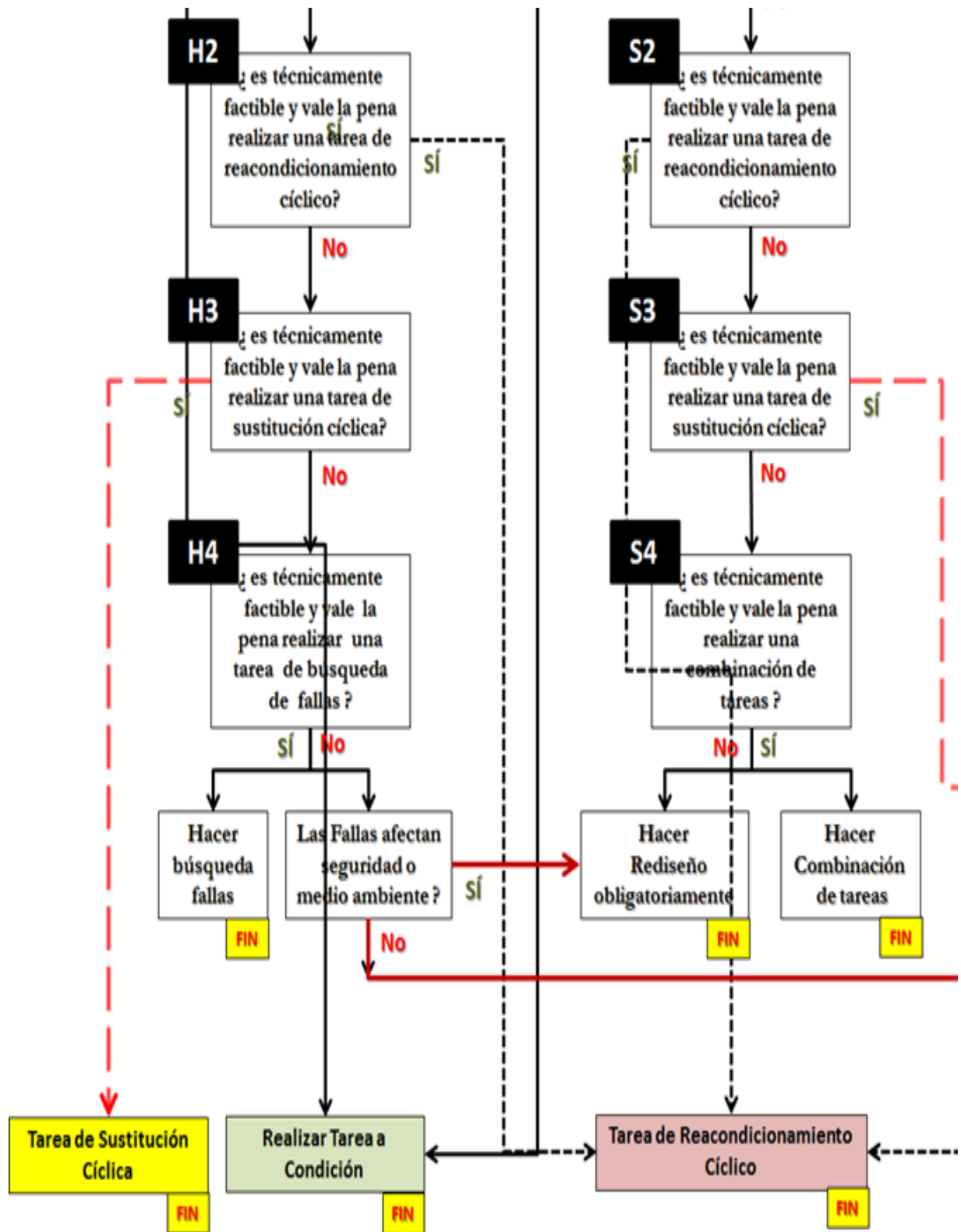
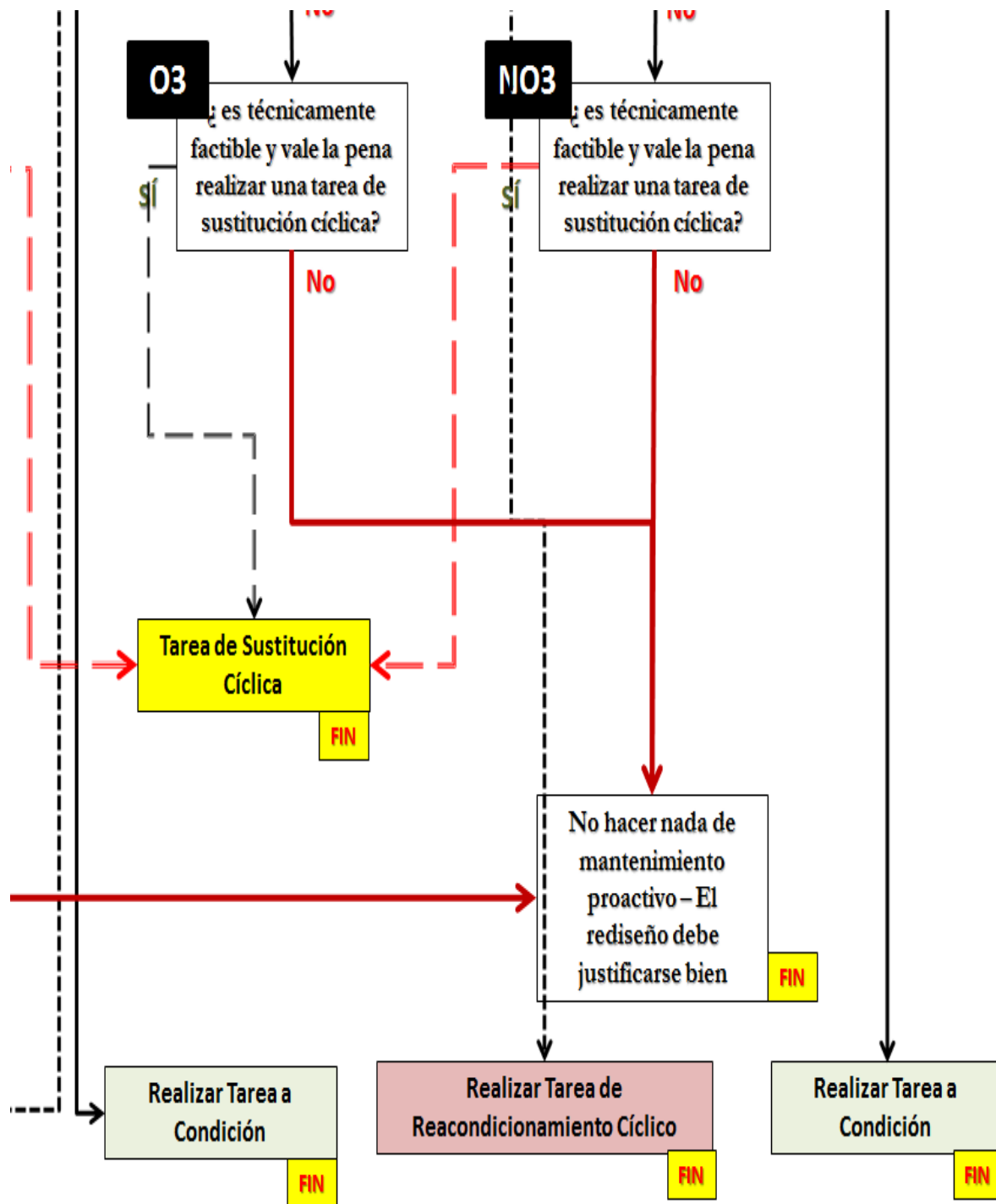


Ilustración 27 – Hoja decisonal ALADON.









### 2.3.3 Hoja de decisión RCM II.

Este documento se considera el segundo más importante en la aplicación del RCM, siendo el primero la hoja de información, a continuación se describen los aspectos más importantes a tener en cuenta para realizar su correcto diligenciamiento, la hoja de decisión permite asentar las respuestas a las preguntas formuladas en el diagrama de decisión, en esta se registra información tal como:

- Que tarea a condición puede realizarse, con qué frecuencia será realizada (análisis de intervalo P– F) quien es el responsable de la ejecución de dicha tarea.
- Si aplica algún mantenimiento de rutina, con qué frecuencia será programado y quien lo realiza.
- Si merece la pena realizar una tarea cíclica de búsqueda de fallas para verificar una función oculta, con que intervalos se realizara la inspección y quien es el personal idóneo para verificar si ésta ha fallado o permanece activa.
- Demostrar que las fallas son suficientemente serias como para justificar un rediseño.
- Tomar la decisión de dejar ciertos elementos en función, hasta que fallen.

La hoja de decisión tiene 16 columnas, de las cuales las tres primeras, F (función), FF (falla funcional) y FM (modo de falla) se utilizan para describir la especificación técnica que debe satisfacer el equipo, definir la pérdida de la función y plantear la causa de la falla.



Ilustración 28 – Correlación referencias hoja de información vs. hoja decisional.

HOJA DE DECISIÓN RCMII © 1990 ALADON LTD			SISTEMA Sistema de bombeo									
			SUBSISTEMA									
Referencia de Información			Evaluación de las consecuencias				H1 S1 01 N1	H2 S2 02 N2	H3 S3 03 N3	Acción de falta de		
F	FF	FM	H	S	E	O				H4	H5	S4
1	A	1										

Evaluación de las consecuencias				H1 S1 01 N1	H2 S2 02 N2	H3 S3 03 N3	Acción de falta de		
H	S	E	O				H4	H5	S4

	Sistema N°	Facilitador:	Fecha	Hoja N°
	Subsistema N°	Auditor:	Fecha	de
Tarea Propuesta			Intervalo Inicial	A realizarse por

(Moubray, 2004)

Los siguientes 10 columnas hacen referencia a las preguntas del diagrama de decisión:

- H, S, E, O y N son las columnas que se utilizan para registrar las respuestas que tienen que ver con las consecuencias del modo de falla que es objeto de análisis.
- H1/S1/O1/N1, H2/S2/O2/N2 y H3/S3/O3/N3, son las columnas que sirven para indicar si se selecciona una tarea proactiva y que tipo de tarea es.
- H4, H5 y S4 son las últimas tres columnas, en estas se registra en caso de llegar a necesitarse tareas de búsqueda de fallas o acciones a falta de.

Las tres columnas siguientes se utilizan para:

- Tarea propuesta: se utiliza para describir los datos más relevantes relacionados con la tarea seleccionada, si se trata de una tarea proactiva o una tarea de búsqueda de fallas la idea es que sea descrita con el mismo detalle que se realizó en la hoja de información y tan precisa como el documento que se entregara a la persona que ejecutara dicha acción.

Si se trata de una decisión de rediseño la tarea propuesta suministrara una descripción breve de las implicaciones del cambio de diseño, más no la forma definitiva del mismo la cual queda a elección de los especialistas.

Si la decisión es esperar a que ocurra la falla, se registra en la tarea propuesta ningún mantenimiento programado y se deja claro que se esperar hasta que falle.

- Intervalo inicial: se describe la frecuencia que se establece para realizar la tarea.
- A realizarse por: se hace referencia al cargo o perfil técnico que requiere la persona que se asignara para ejecutar esta tarea.

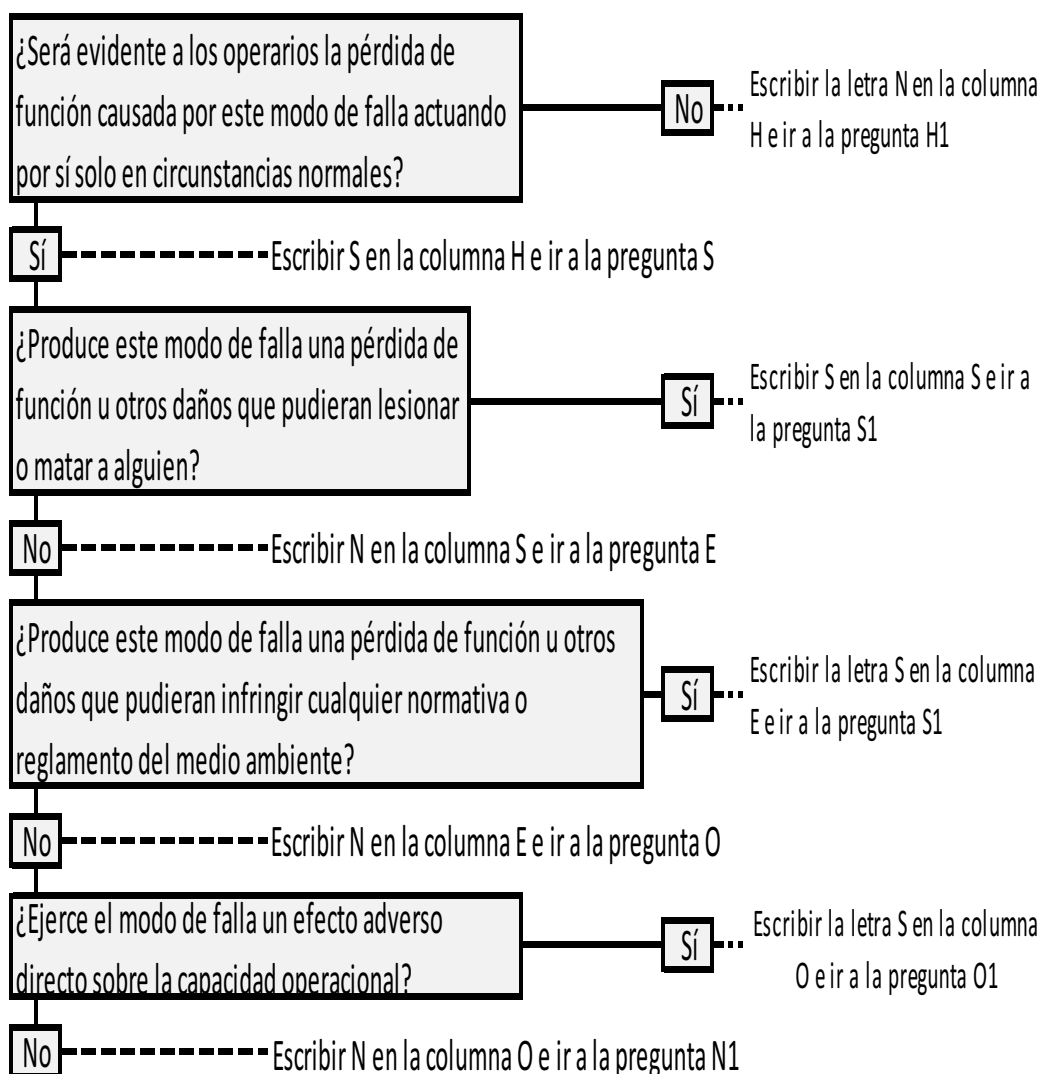
Ilustración 29 – Hoja de decisión RCM II

<b>HOJA DE DECISIÓN</b> <b>RCMII</b> © 1990 ALADON LTD				SISTEMA									Sistema N°		Facilitador:		Fecha		Hoja N°	
				SUBSISTEMA									Subsistema N°		Auditor:		Fecha		de	
Referencia de Información			Evaluación de las consecuencias				H1 S1 01 N1	H2 S2 02 N2	H3 S3 03 N3	Acción de falta de			Tarea Propuesta	Intervalo Inicial	A realizarse por					
F	FF	FM	H	S	E	O				H4	H5	S4								

(Moubray, 2004)

En la siguiente grafica se indica cómo se evalúan las consecuencias de las fallas, estas preguntas se hacen para cada modo de falla y se registran las respuestas de la siguiente manera en la hoja de decisión.

Ilustración 30 – Registro consecuencias de fallas en hoja de decisión.



Referencia de Información			Evaluación de las consecuencias			
F	FF	FM	H	S	E	O
3	A	1	N			
<b>Una falla oculta:</b> Para que merezca la pena realizarla, cualquier tarea preventiva debe reducir el riesgo de esta falla a un nivel tolerable						
5	B	2	S	S		
<b>Consecuencias para la seguridad:</b> Para que merezca la pena realizarla, cualquier tarea preventiva debe reducir por sí sola el riesgo de esta falla a un nivel tolerable						
2	C	4	S	N	S	
<b>Consecuencias para el medio ambiente:</b> Para que merezca la pena realizarla, cualquier tarea preventiva debe reducir por sí sola el riesgo de esta falla a un nivel tolerable						
1	A	5	S	N	N	S
<b>Consecuencias operacionales:</b> Para que merezca la pena realizarla, cualquier tarea preventiva a través de un periodo de tiempo debe costar menos que el costo total de las consecuencias operacionales más el costo de la reparación de la falla que pretende prevenir						
1	B	3	S	N	N	N
<b>Consecuencias No-operacionales:</b> Para que merezca la pena realizarla, cualquier tarea preventiva a través de un periodo de tiempo debe costar menos que el costo de la reparación de las fallas que pretende prevenir.						

(Moubray, 2004)

Las tres columnas siguientes se utilizan para registrar tareas proactivas:

- La columna H1/S1/O1/N1 se utiliza para registrar tareas a condición capaces de permitir anticiparse al modo de falla con el objetivo de disminuir o evitar sus consecuencias, mantenimiento predictivo.
- La columna H2/S2/O2/N2 se utiliza para registrar una tarea de reacondicionamiento cíclico apropiada para prevenir la falla, mantenimiento programado o preventivo.
- La columna H3/S3/O3/N3 se utiliza para registrar una tarea de sustitución cíclica apropiada para prevenir la falla, mantenimiento programado o preventivo.

Una tarea es apropiada y merece la pena de realizarla solo si es técnicamente factible, para que una tarea sea técnicamente factible esta contesta de manera positiva a todas las preguntas que se ilustran en la siguiente gráfica, si la respuesta a cualquiera de las preguntas es no o se desconoce, se rechaza la tarea y se registra la letra N, si todas las preguntas pueden ser contestadas de manera afirmativa se registra la letra S en la respectiva columna.

Preguntas H1/S1/O1/N1 son usadas para identificar si se puede encontrar una tarea a condición apropiada.

Preguntas H2/S2/O2/N2 son usadas para identificar si se puede encontrar una tarea de reacondicionamiento cíclico.

Las columnas H4, H5 y S4 son utilizadas para registrar las respuestas a las tres preguntas a falta de. En la siguiente figura se resume como se contesta a dichas preguntas, es importante aclarar que solo se realizan estas preguntas cuando la respuesta a las tres preguntas previas fueron todas no.

Ilustración 31 – Tareas Proactivas.

H1	H2	H3
S1	S2	S3
01	02	03
N1	N2	N3
S		
N	S	
N	N	S

**¿Es técnicamente factible realizar una tarea para detectar si está ocurriendo una falla o está a punto de ocurrir? :**

¿Hay alguna clara condición de la falla potencial? ¿Cual es?  
 ¿Es suficientemente largo como para ser de utilidad? ¿Es razonablemente consistente? ¿Es posible hacer la tarea a intervalos menores al intervalo P-F?

**¿Es técnicamente factible realizar una tarea de reacondicionamiento programado para reducir la frecuencia de la falla** (evitar todas las fallas en el caos en que afecte la seguridad)?

¿Hay una edad en la que aumenta rápidamente la probabilidad condicional de falla? ¿Cual es? ¿Ocurre la mayoría de las fallas después de esta edad (todos en el caso de consecuencias para la seguridad o el medio ambiente)?  
 ¿Restituirá la tarea la resistencia original a la falla?

**¿Es técnicamente factible realizar una tarea de sustitución cíclica para reducir la frecuencia de la falla** (evitar todas las fallas en el caso de que afecte a la seguridad)?

¿Hay una edad en la que aumenta rápidamente la probabilidad condicional de falla? ¿Cual es? ¿Ocurren la mayoría de las fallas después de esta edad (todos en el caso de consecuencias para la seguridad o el medio ambiente)?

(Moubray, 2004)

## Ilustración 32 – Acciones.

Referencia de Información			Evaluación de las consecuencias				H1 S1	H2 S2	H3 S3	Acción de falta de		
F	FF	FM	H	S	E	O	01 N1	02 N2	03 N3	H4	H5	S4
3	A	1	N				N	N	N	S		
<p>¿Es técnicamente factible y merece la pena realizar una tarea de búsqueda de falla?</p> <p>Registrar "sí", si es posible realizar la tarea y resulta práctico hacerlo con la frecuencia requerida y reduce el riesgo de la falla múltiple a un nivel tolerable.</p>												
4	B	4	N				N	N	N	N	S	
4	C	2	N				N	N	N	N	N	
<p>¿Podría la falla múltiple afectar la seguridad o el medio ambiente?</p> <p>(Solo se hace esta pregunta si la respuesta a la pregunta H4 es no.) Si la respuesta a esta pregunta es sí, el rediseño es obligatorio. Si la respuesta es no, la acción "a falta de" es <b>no realizar mantenimiento programado</b>, pero el rediseño puede ser deseable.</p>												
5	B	2	S	S			N	N	N			S
2	A	5	S	S			N	N	N			N
<p>¿Es técnicamente factible y merece la pena realizar una combinación de tareas?</p> <p>"Sí", si una combinación de <b>dos o más</b> tareas proactivas cualquiera reducen el riesgo de falla a un nivel tolerable (esto rara vez sucede). Si la respuesta es no, el <b>rediseño es obligatorio</b>.</p>												
1	A	5	S	N	N	Y	N	N	N			
1	B	3	S	N	N	Y	N	N	N			
<p>En estos dos casos, las consecuencias de la falla son puramente económicas y no se pudo encontrar una tarea proactiva apropiada. Como resultado, la decisión "a falta de" inicial no es realizar mantenimiento programado, <b>pero el rediseño puede ser deseable</b>.</p>												

(Moubray, 2004)

Las preguntas H4, S4 y H5 son usadas para identificar si se puede encontrar una tarea a falta de mantenimiento, en estas instancias se debe ejecutar una tarea de búsqueda de fallas, una combinación de tareas, un rediseño, o ningún mantenimiento programado.



## 2.4 CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO 2

- La secuencia lógica del diagrama de decisión se encarga de priorizar los modos de fallas según el nivel de riesgo que representan para la organización y plantea las diferentes acciones que pueden implementarse para disminuir o eliminar este riesgo mediante acciones técnicas de mantenimiento.
- Con el diligenciamiento de la hoja decisión se materializan dos de los entregables más importantes de un análisis RCM, planes de mantenimiento y listado de rediseños, además plantea las necesidades en cuanto a la implementación o modificaciones de procedimientos operativos.
- Una implementación RCM no es un estado estacionario, por el contrario es una condición dinámica la cual es susceptible de mejoras o de cambios debido a las modificaciones que sufren los procesos o alteraciones en el contexto operacional de los equipos, motivo por el cual el éxito de toda implementación requiere de seguimiento y análisis posteriores a la hoja de decisión.
- Dentro de los procesos de revisión de un análisis RCM es clave auditar la hoja de decisión, con esta práctica se garantiza que el método se aplicó de manera correcta, que se reunió la información adecuada, que el análisis y las conclusiones son acertadas.
- La auditoría de la hoja de decisión es la base del mejoramiento continuo de un proceso RCM, se realiza por personal especialista y sus recomendaciones serán implementadas y tenidas en cuenta para realizar nuevos análisis, además de que los resultados se verán reflejados en el mejoramiento de los indicadores claves del proceso.

### **3. IRCMS**

#### **3.1 OBJETIVO 3**

Implementar. (Caso real de estudio). – Nivel 3 – aplicar.

#### **3.2 INTRODUCCION**

La idea central del RCM es que los esfuerzos de mantenimiento deben ser dirigidos a mantener la función que realizan los equipos más que los equipos mismos. Es la función desempeñada por una máquina lo que interesa desde el punto de vista productivo. Esto implica que no se debe buscar tener los equipos como si fueran nuevos, sino en condiciones suficientes para realizar bien su función. También implica que se deben conocer con gran detalle las condiciones en que se realiza esta función y, sobre todo, las condiciones que la interrumpen o dificultan, éstas últimas son las fallas (Rocha, 2016).

En este capítulo se busca aplicar la herramienta tecnológica contenida en el software IRCMS con el objetivo de realizar un análisis RCM a un Cambiavías UIC 54– 190– TG 1/9. de la línea férrea del Metro de Medellín para determinar las tareas de mantenimiento requeridas con el fin de preservar las funciones del equipo y mejorar la confiabilidad del sistema.

#### **3.3 SOFTWARE IRCMS**

El Sistema Integrado de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (IRCMS) es una herramienta de software diseñada para facilitar al analista del Mantenimiento Centrado

en la Confiabilidad (RCM) en la realización de análisis y documentación de los procesos RCM para los Sistemas de Comando de la Naval Air (NAVAIR)<sup>15</sup>.

La herramienta ayuda a proporcionar la justificación y la trazabilidad requerida para cada tarea de mantenimiento preventivo que resulta del análisis RCM. El software IRCMS conduce al usuario a través de las ramas correspondientes de la lógica de la RCM en base a datos suministrados por el usuario. El programa sigue la lógica contenida en RCM CNSA 00– 25– 403, directrices para el proceso de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad de la aviación naval (Connection, 2014).

### **3.4 PASOS PARA LA IMPLEMENTACION IRCMS**

Este módulo proporciona una visión general del proceso RCM aplicado por la NAVAIR mediante el software IRCMS, a continuación se discriminan los pasos y consideraciones más importantes para la definición del alcance de los programas:

#### **3.4.1 Programa de mantenimiento preventivo básico actual.**

Definir los planes de mantenimiento existentes y disponibles, las tareas análisis (RCM), nivel estándar de almacenamiento para mantenimiento (SDLM).

#### **3.4.2 RCM candidato, identificación y priorización.**

Identificar las funciones, elementos y/o planes de mantenimiento para determinar las tareas que son objeto de análisis RCM.

Priorización basada en la seguridad, disponibilidad operativa y rentabilidad esperada de las inversiones. Algunos ejemplos de limitar el alcance de los análisis iniciales incluyen:

---

<sup>15</sup> NAVAIR US – Navy Naval Air System Command – Navy and marine – [www.navair.navy.mil/](http://www.navair.navy.mil/)

- **Análisis de base:** se trata de un mínimo esfuerzo inicial. Se supone más el plan de mantenimiento actual, son las tareas razonablemente justificadas, y entran de inmediato en el mantenimiento. Los beneficios de RCM se harán a través mantener esfuerzos proactivos.
- **Análisis de perfil alto:** es similar a un método de análisis por encima el cual consiste en saltar a la fase de mantenimiento, tales como el análisis de costo, excepto que un mayor esfuerzo inicial puede ser justificada.
- **Método de relleno:** este es un nivel medio para el análisis inicial. Se supone que el actual programa de mantenimiento preventivo cubre adecuadamente todos los posibles modos de falla, pero que puede haber algunos planes de mantenimiento que pueden no ser necesarios. Una lista de elementos y/o funciones es desarrollada para el análisis de tareas existentes en el plan de mantenimiento.
- **Análisis completo:** requiere el más alto esfuerzo inicial y sólo se debe considerar cuando retornos potenciales son altos, es decir, programas con una importante vida útil y/o de altos costes de mantenimiento y/o muy poco fiable.

### 3.4.3 Proceso/Filosofía.

Identifica las filosofías y los procesos que se utilizarán para el RCM justificando las tareas en el más lógico y rentable programa de mantenimiento. Algunos de los factores que influyen en el desarrollo e identificación de las filosofías pueden incluir, pero no se limitan a: tamaño de la flota, las necesidades operacionales, limitaciones, y el mínimo nivel de las funciones.

#### 3.4.4 Nivel de análisis.

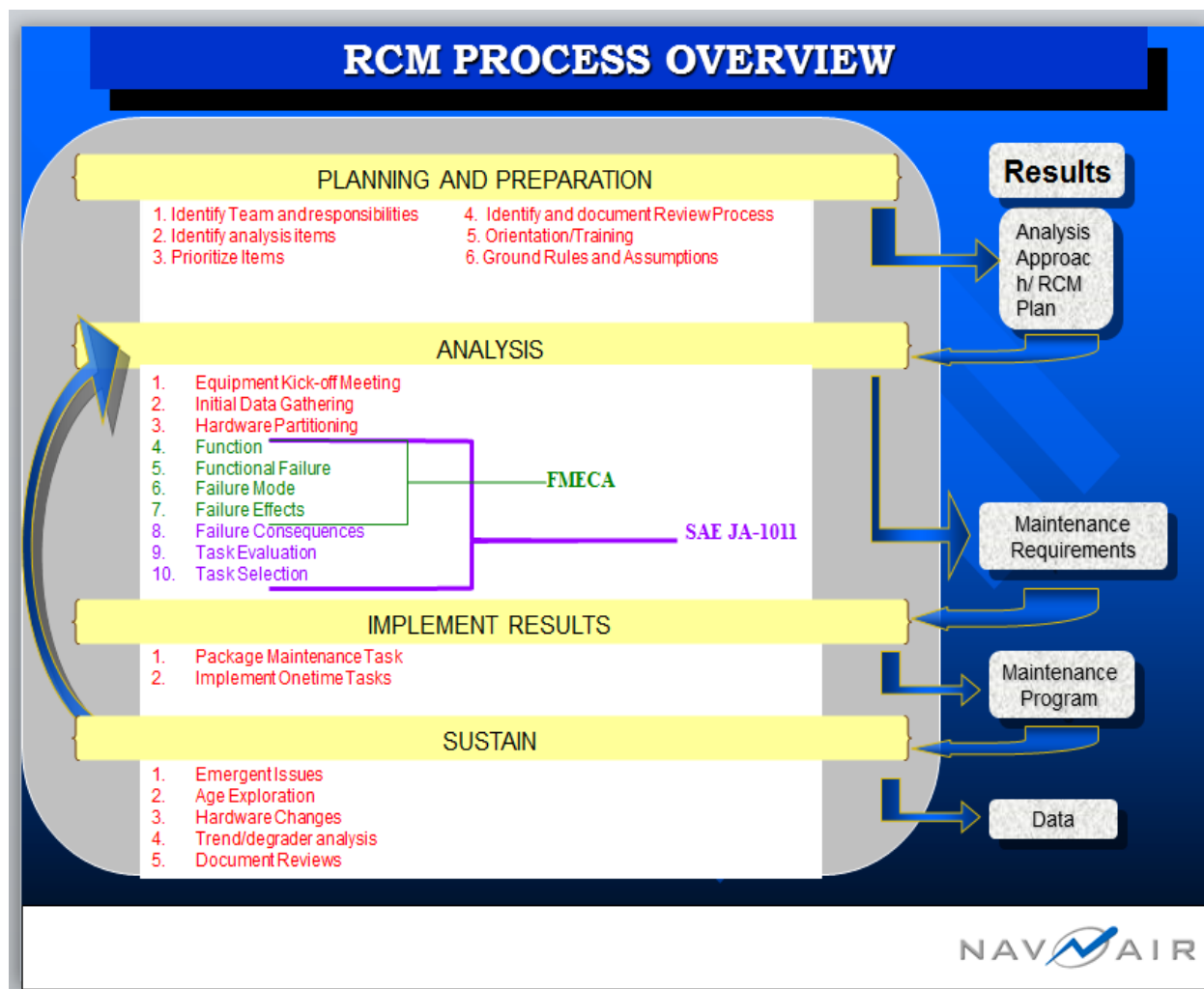
Debe desarrollarse una lista de los sistemas, subsistemas y/o componentes que serán objeto importante de determinación. RCM debe realizarse a un nivel tan alto como sea posible. La experiencia ha demostrado que para un completo análisis RCM, el sistema o subsistema generalmente es un buen lugar para iniciar el análisis RCM (NAVAIR, 1996).

### **3.5 DESCRIPCION GENERAL DEL PROCESO RCM**

Esta sección proporcionará una visión resumida del proceso general RCM incluyendo los cuatro elementos básicos de la implementación del programa IRCMS:

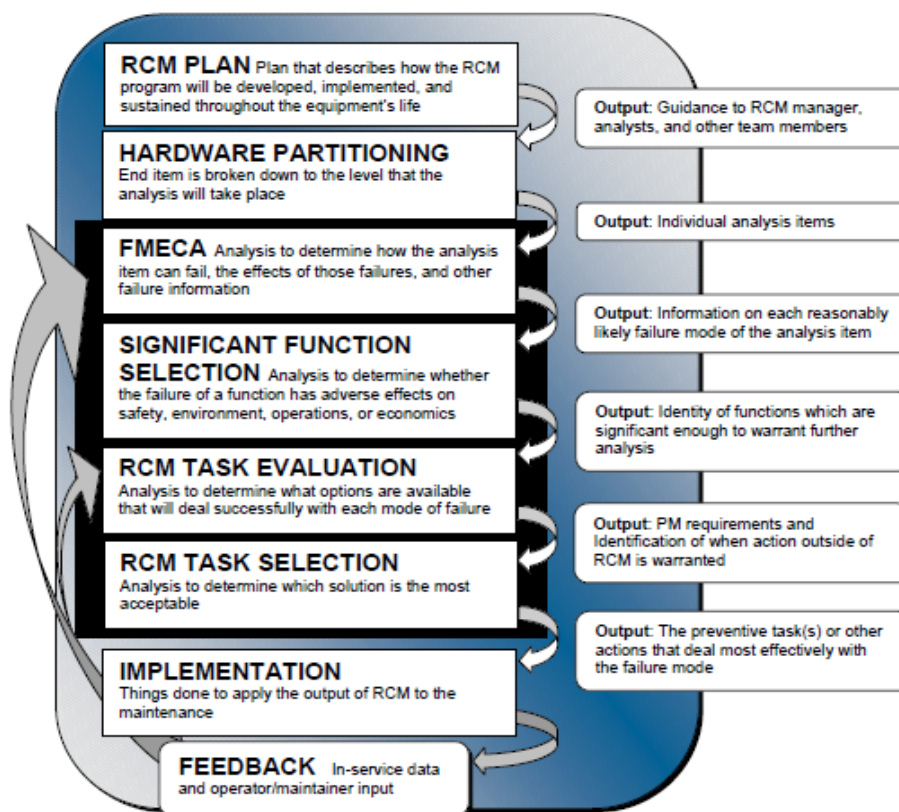
- Planificación y preparación
- Análisis inicial del RCM
- Implementación de Resultados
- Sosteniendo el Análisis

Ilustración 33 – Descripción del Proceso RCM.



Todo programa de mantenimiento basado en confiabilidad abarca mucho más que la realización del análisis RCM, para una empresa que desea implementar este tipo de táctica es necesario dimensionar los esfuerzos más significativos para la planificación y gestión del proyecto, en la siguiente ilustración se mencionan muchas de los criterios que requieren ser considerados antes de iniciar implementaciones con IRCMS.

Ilustración 34 – Mapa del proceso RCM.



(US-NAVAIR, 2016)

### 3.6 APLICACION DEL SOFTWARE

A continuación se exponen cada uno de los aspectos técnicos que se consideran para un análisis en el Software IRCMS, se describe el proceso para el manejo de la información que se requiere y la forma como se realiza el diligenciamiento de estos datos en el programa.

### 3.7 PLANIFICACIÓN Y PREPARACIÓN

En el capítulo uno se plantea los conceptos técnicos, etapas y pasos para la implementación de un programa RCM.

### 3.8 ANÁLISIS RCM

Una vez seleccionado el equipo objeto del análisis y realizado el trabajo de base de la manera adecuada, se da comienzo a la fase del análisis, en la cual se desarrollan las siguientes actividades:

#### 3.8.1 Reunión lanzamiento del equipo.

Esta reunión consiste en un evento donde la alta gerencia divulga al personal de la organización la implementación del RCM, manifiesta su compromiso con el programa y realiza el lanzamiento de la metodología, como parte del protocolo se presentan los equipos pilotos y sus integrantes, se plantea los beneficios, el alcance y de manera oficial se da inicio al proyecto.

#### 3.8.2 Recolección inicial de datos.

Se trata de la recopilación de información técnica, datos relevantes y especificaciones de funcionamiento del equipo, información normalmente facilitada por el fabricante de los equipos o contenida en los manuales de operación y mantenimiento.

- **Cambiavías:** se denomina cambiavías a un dispositivo de la vía permanente que permite el paso de un vehículo ferroviario de una vía a otra de forma ágil y segura, sin interrupción de la marcha.
- **Vía Permanente:** es el camino de rodadura para los vehículos ferroviarios, se encuentra compuesta por los elementos situados por encima de la infraestructura.



Ilustración 35 – Cambiavías UIC 54– 190– TG 1/9 posicionado a la izquierda.



Ilustración 36 – Cambiavías UIC 54– 190– TG 1/9 posicionado a la derecha.



Ilustración 37 – Esquema división de un cambiavías UIC 54– 190– TG 1/9.

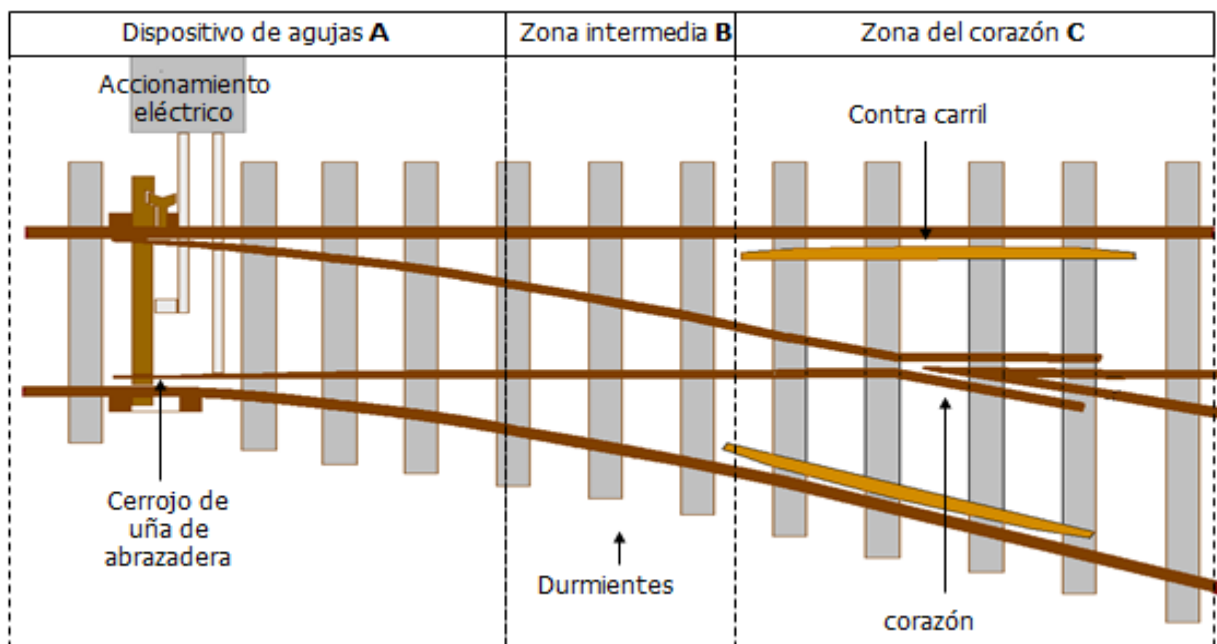


Ilustración 38 – Estructura de la vía permanente y sus componentes.

## Estructura Vía Permanente

**Riel:** Parte de la vía permanente sobre la cual se apoya la rueda del vehículo.

**Durmiente o traviesa:** Estructura transversal de hormigón o de madera sobre la que se soporta el riel.

**Balasto:** Es una piedra triturada irregular sobre la cual se asientan los durmientes.

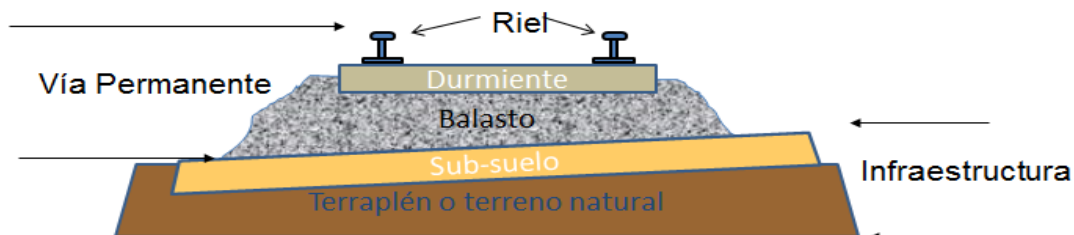


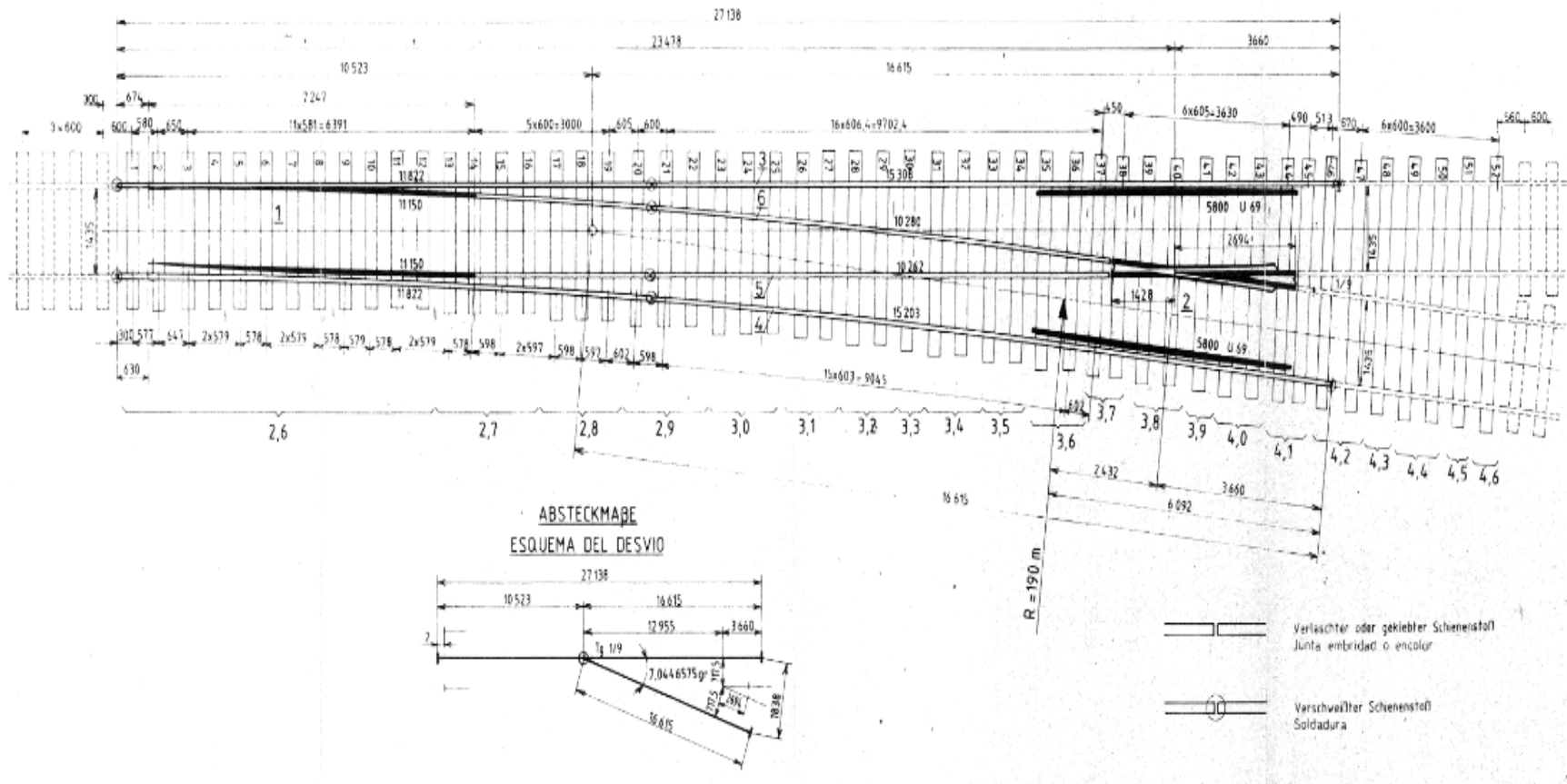
Ilustración 39 – Datos técnicos vía permanente.

<b>Datos Técnicos vía Permanente</b>	
Riel	UIC 54
Tipo de Sujeción	HM Vossloh
Tipo de Durmiente	Dywidag
Ancho de vía	1435± 3 mm
Peralte Máximo	150 mm
Peralte Mínimo	20 mm
Distancia Mínima Entre Vías	3750 mm
Distancia Entre Durmientes	Línea Comercial 63 cm
Velocidad Máxima Servicio Comercial	80 Km/h

Ilustración 40 – Componentes cambiavías UIC 54– 190– TG 1/9.

<b>Componentes Cambiavías</b>	
<b>Geometría del Cambiavías</b>	<b>Anexo 7.3-1 Manual de Mantenimiento de la vía Férrea</b>
Riel UIC 54	
Corazón	
Contra Aguja Recta	
Contra Aguja Curva	
Contracarril	
Aguja Curva	
Aguja Recta	
Durmientes	
Cerrojo de uña	
Sujeciones	
Junta Aislante	
Palcas de Rodillos	
Balastro	

Ilustración 41 – Plano ensamble cambiavías UIC 54– 190– TG 1/9.



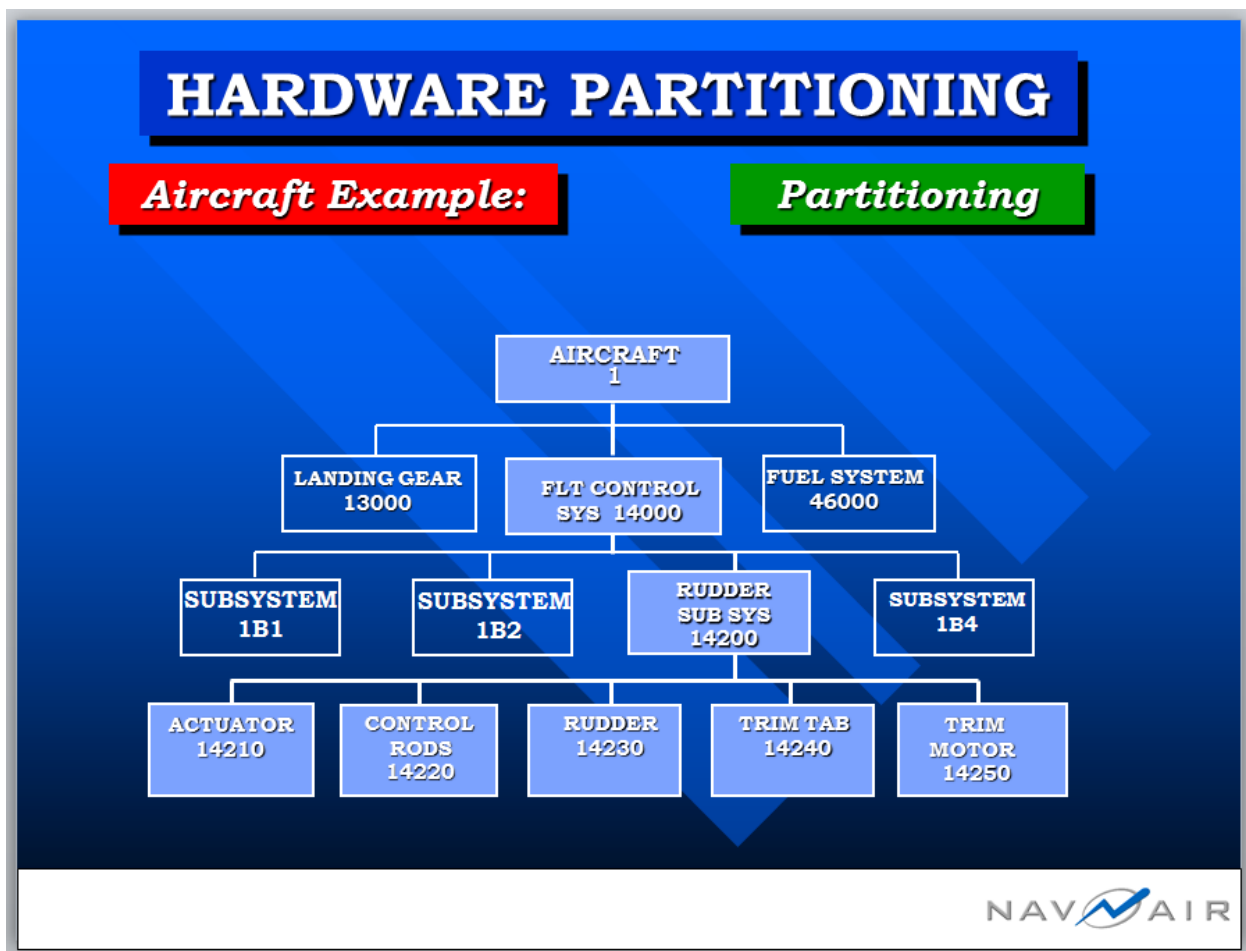


### 3.8.3 Particionamiento del hardware.

Para los propósitos del IRCMS los términos Activo, Hardware e Ítem hacen referencia indistintamente para describir el equipo objeto del análisis.

El termino hardware partition o hardware breakdown representa una división jerárquica lógica de un activo en niveles progresivamente más bajos para mostrar las relaciones entre sistemas, subsistemas y/o componentes.

Ilustración 42 – Ejemplo hardware partition o hardware breakdown.



A continuación se ilustra la configuración del setup para la creación del nuevo proyecto, creación del equipo y el desglose de sus componentes.

Ilustración 43 – Setup.

Setup

General | Default | Level of Maintenance | Publications | Packages | Operating Phases | **Users** | CF (Operating Hour/Unit) | Severity Classes | Failure Frequencies | HRI Matrix

Multiple users can be defined with different access rights.

AccessLevels:  
View Only = Records cannot be edited  
Analyst = View, Edit and Review Rights  
Signoff = View, Edit and Admin Rights

An Active status indicates that the user is a current user for this project.

Select a User to Edit:

Last Name, First Name	User ID
Molina, Luis	lfmolina

Edit or Add User:

First Name: Luis (optional)

Last Name: Molina

User Name: lfmolina

Password: xxxxxxxx

Verify Password: xxxxxxxx

Access Level: SignOff

Active: ☒

Help Delete Save Continue Print Cancel

Ilustración 44 – Creación equipo cambiavías UIC 54– 190– TG 1/9.

Item - UIC 54-190-TG 1/9.

Item ID: UIC 54-190-TG 1/9

Item Name: Cambiavías

Item Description: Cambiavías UIC 54-190-TG 1/9.

Item ID Code:

Number of Items in operation: 71

Part Number:

Item Design Life: 175200 A - Operating Hours

Alternate Application: DI

Status: In process

Effectivity: Cambiavías

Analyst: Molina, Luis Fdo.

Approved by:

Reviewed by:

Save Continue Cancel Memo

Ilustración 45 – Creación componentes cambiavías UIC 54– 190– TG 1/9.

Integrated Reliability-Centered Maintenance System - Project: C:\Users\Luis\Desktop\Análisis Cambiavías Metro de

File Edit View Tools Reports Window Help

Current User: Molina  
Access Level: Approver

Hardware Breakdown

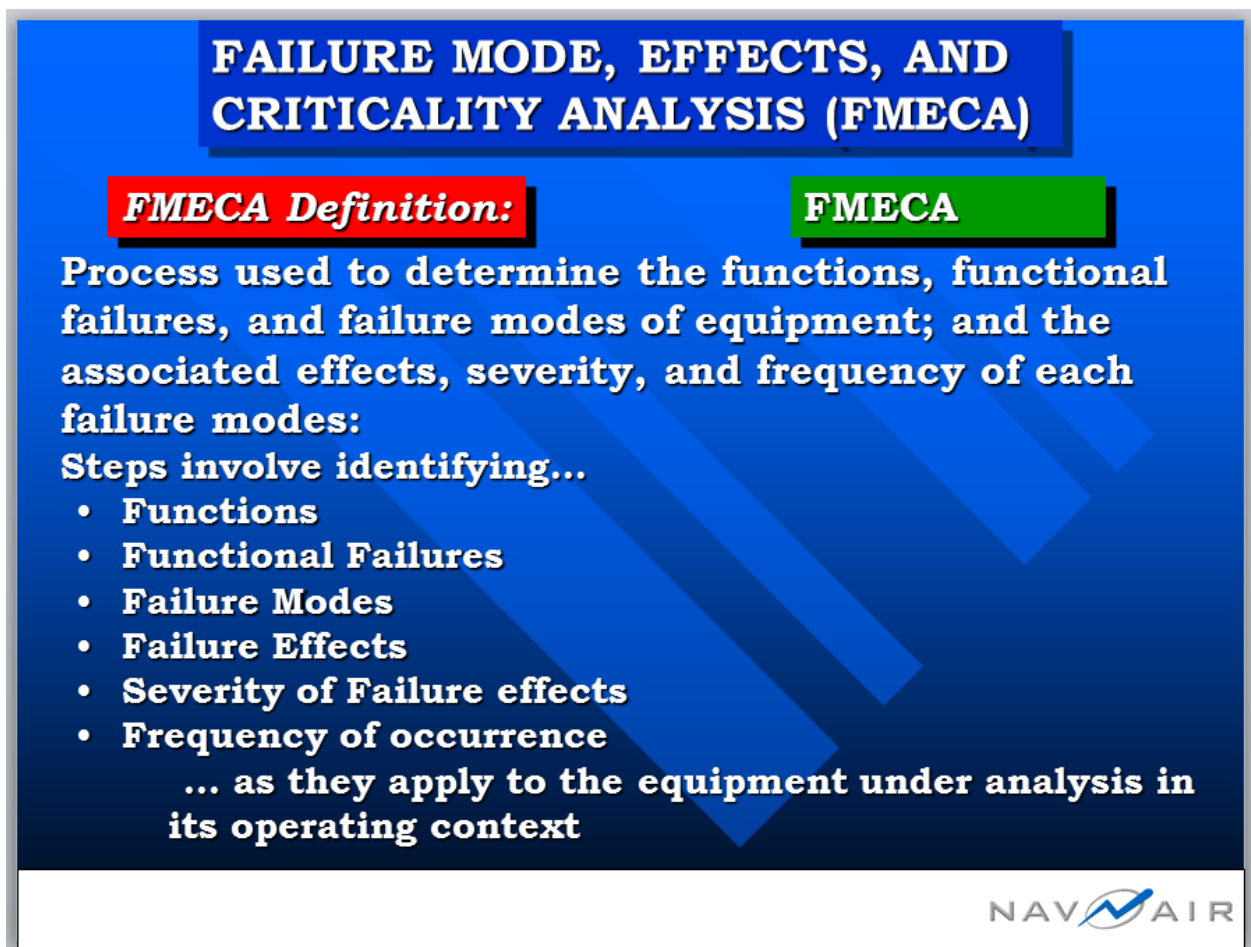
UIC 54-190-TG 1/9. Cambiavías

- UIC 54 Riel
- Corazon
- Contra Aguja Recta
- Contra Aguja Curva
- Contracarril
- Aguja Curva
- Aguja Recta
- Durmientes (Traviesas de Madera)
- Cerrojo de Una
- Sistema de Sujeciones
- Junta Aislante
- Placas de Rodillo
- Balasto

#### 3.8.4 Funciones.

Esta parte contempla la información relacionada con el análisis (FMECA), además Introduce el concepto de Función, Modo de Falla, Falla Funcional, Efectos y Análisis de Criticidad.

Ilustración 46 – Análisis FMECA.

A presentation slide with a blue background and white text. At the top, a dark blue banner contains the title 'FAILURE MODE, EFFECTS, AND CRITICALITY ANALYSIS (FMECA)' in white, bold, sans-serif font. Below the banner, there are two colored boxes: a red one on the left containing the text 'FMECA Definition:' and a green one on the right containing the text 'FMECA'. The main body of the slide contains the following text: 'Process used to determine the functions, functional failures, and failure modes of equipment; and the associated effects, severity, and frequency of each failure modes:'. This is followed by 'Steps involve identifying...' and a bulleted list of six items: 'Functions', 'Functional Failures', 'Failure Modes', 'Failure Effects', 'Severity of Failure effects', and 'Frequency of occurrence'. Below the list, it says '... as they apply to the equipment under analysis in its operating context'. In the bottom right corner, there is a logo for 'NAV AIR' with a stylized blue and white graphic element between the words.

**FAILURE MODE, EFFECTS, AND CRITICALITY ANALYSIS (FMECA)**

**FMECA Definition:**

**FMECA**

**Process used to determine the functions, functional failures, and failure modes of equipment; and the associated effects, severity, and frequency of each failure modes:**

**Steps involve identifying...**

- **Functions**
- **Functional Failures**
- **Failure Modes**
- **Failure Effects**
- **Severity of Failure effects**
- **Frequency of occurrence**

**... as they apply to the equipment under analysis in its operating context**

NAV AIR



Ilustración 47 – Identificación de funciones significativas.

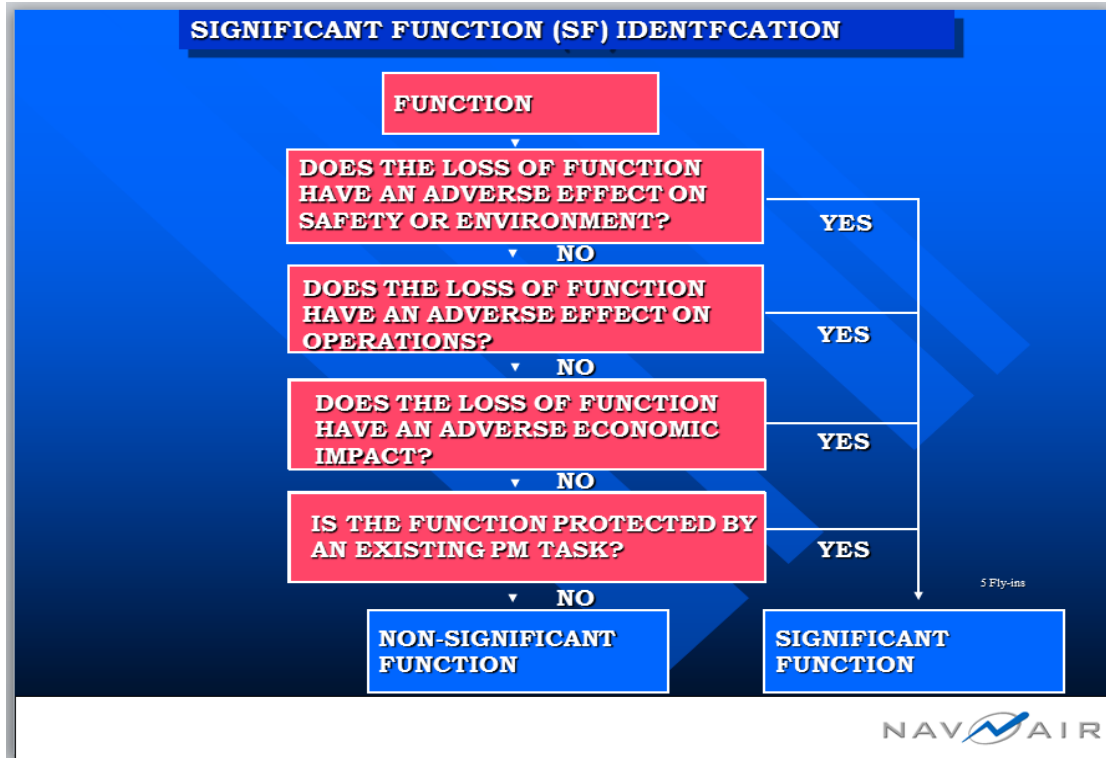
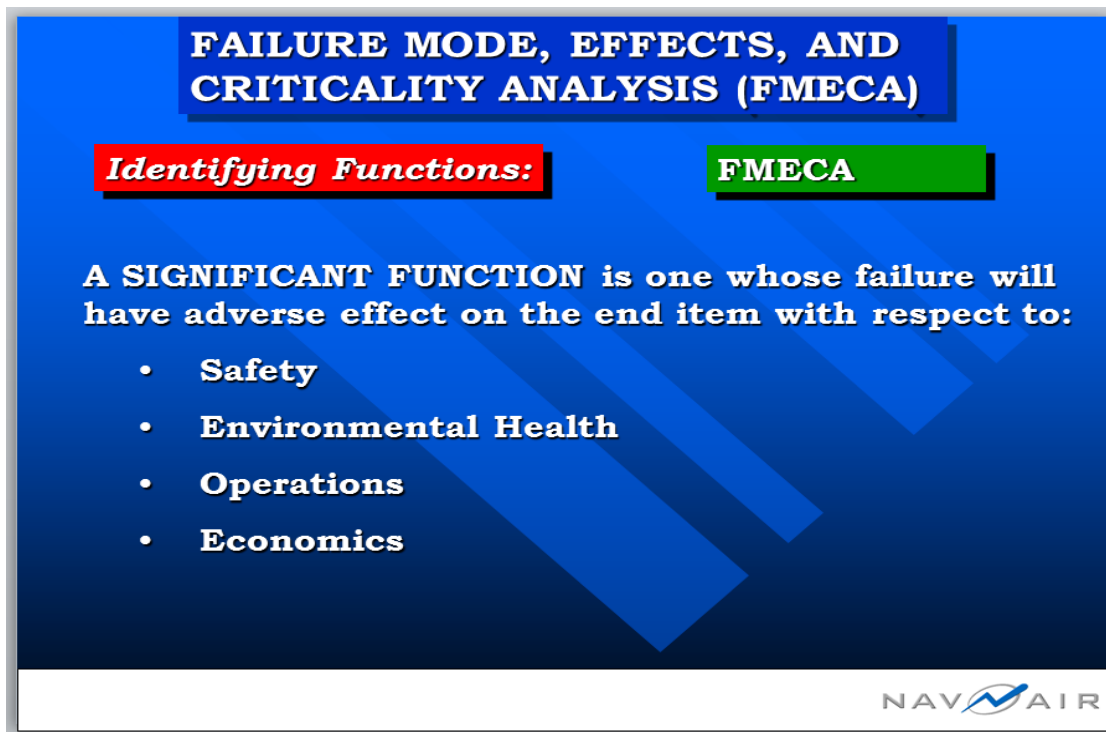


Ilustración 48 – Función principal sistema cambiavías UIC 54– 190– TG 1/9.

Function - UIC 54-190-TG 1/9. - 01

Item ID: UIC 54-190-TG 1/9.

Function ID: 01

Function Description: Permitir el cambio de un vehiculo ferroviario de una via a otra a velocidad max de 40 km/h de manera segura y confiable.

Functional Significance Determination

	Yes	No
1. Does loss of the function have an adverse effect on safety or environment?	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2. Does loss of the function have an adverse effect on operations?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3. Does loss of the function have an adverse economical impact?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4. Is this function protected by an existing PM task?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Effectivity: Cambiavias UIC 54-190-TG 1/9.

Analyst: Molina, Luis Fdo. Status: In process

Approved by:

Reviewed by:

Print Save Continue Cancel Memo

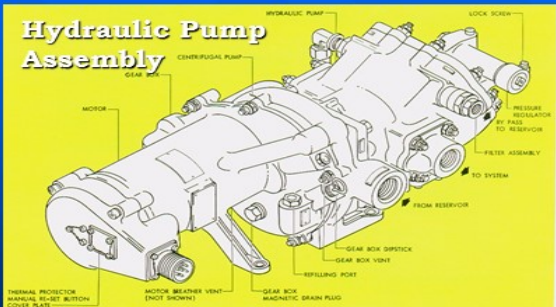
### 3.8.5 Fallas funcionales.

Ilustración 49 – Identificación de fallas funcionales

## FAILURE MODE, EFFECTS, AND CRITICALITY ANALYSIS (FMECA)

**FMECA Terms:**

**FMECA**



**Hydraulic Pump Assembly**

**FUNCTIONAL FAILURE**  
The inability of an item to perform a specific function within specified limits.

*Fails to provide hydraulic fluid at a pressure of 3000 psi +/- 200 psi*

NAV AIR

## FAILURE MODE, EFFECTS, AND CRITICALITY ANALYSIS (FMECA)

**Identifying Functional Failures:**

**FMECA**

- Note that functional failure may not be a complete loss of the function
- Separate functional failures should be listed where the effects of less than total loss of the function are different from total loss
- Ensure functional failure addresses the function as defined
- Common Errors:
  - Confusion with failure modes of hardware
  - Confusion with potential failures

NAV AIR

En la ventana principal con el botón Adding Function Failure el cual se habilita para diligenciar el formulario de cada falla funcional, este formulario comprende el ID de la función, descripción de la falla y posibles formas de evitar que la falla afecte el sistema.

Ilustración 50 – Falla funcional de la función principal.

Functional Failure - UIC 54-190-TG 1/9. - 01A

Item ID: UIC 54-190-TG 1/9.

Function ID: 01

Function Description: Permitir el cambio de un vehiculo ferroviario de una via a otra a velocidad max de 40 km/h de manera segura y confiable.

Functional Failure ID: A

Functional Failure Description: El cambiavias no permite el cambio de via

Compensating Provisions: Verificar estado de los componentes y correcta posicion del cambiavias

Effectivity: Cambiavias UIC 54-190-TG 1/9.

Analyst: Molina, Luis Fdo.

Status: In process

Approved by:

Reviewed by:

Save Continue Cancel Memo

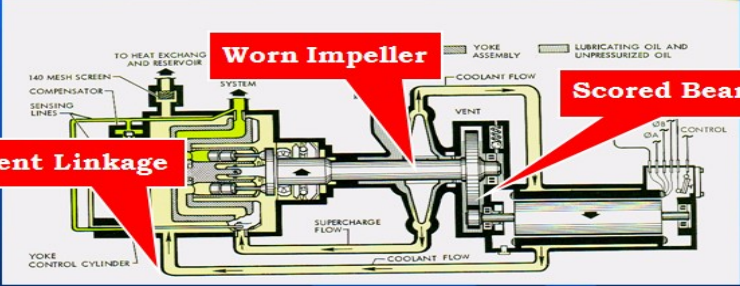
### 3.8.6 Modos de falla.

Ilustración 51 – Identificación de modos de falla.

**FAILURE MODE, EFFECTS, AND CRITICALITY ANALYSIS (FMECA)**

**FMECA Terms:**

**FMECA**



**FAILURE MODE**  
A specific physical condition that causes a particular functional failure.

NAV AIR

**FAILURE MODE, EFFECTS, AND CRITICALITY ANALYSIS (FMECA)**

**Identifying Failure Modes:**

**FMECA**

- When possible list failure cause or mechanism, ex. "cracked spar due to fatigue"
- List all failure modes that are "reasonable".
- Be as descriptive as possible
- Do not combine failure modes where failure effects, rates, or possible failure management solutions may be different
- Methods to identify "significant" failures vary by project.

NAV AIR

El indicador de modo de falla FMI consta de tres elementos: un número de la función asociada a este modo de falla, una letra de la falla funcional asociada a esta función, un número de 2 dígitos.

Ilustración 52 – Modo de falla de la función principal.

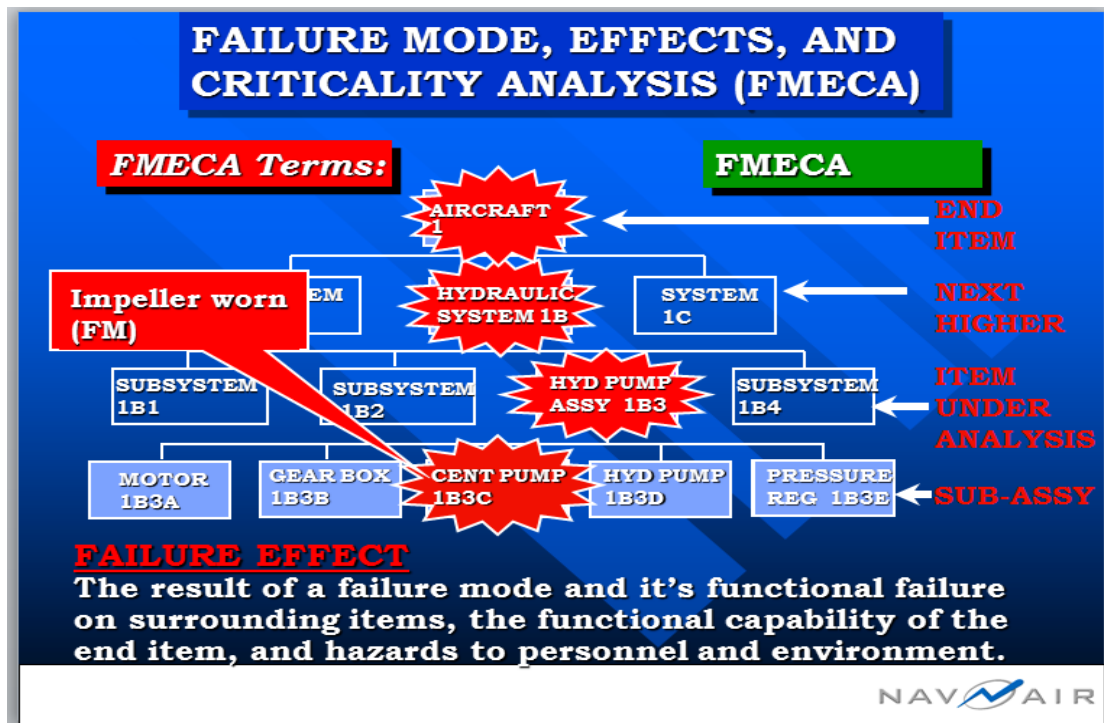
Failure Mode - UIC 54-190-TG 1/9. - 01A01

Item ID: UIC 54-190-TG 1/9. Cambiavias FMI: 01 - A - 01 Rev:

Failure Mode Description:  
Ruptura intransitable de aguja curva

### 3.8.7 Efectos de las fallas

Ilustración 53 – Identificación de efectos de falla.



# FAILURE MODE, EFFECTS, AND CRITICALITY ANALYSIS (FMECA)

**Identifying Failure Effects:**
**FMECA**

**Pay attention to level of effects:**

- Local:** effect on the failed part: “Loss of Impeller effectiveness.”
- Next higher:** effect on the function of the system/subsystem being analyzed, often synonymous with functional failure: “Loss of Hydraulic Sys #1 pressure.”
- End:** what the failure means to the asset: “Loss of mission.”




Ilustración 54 – Identificación de modos de falla y sus efectos

Failure Mode - UIC 54-190-TG 1/9. - 01A01
FMI: 01 - A - 01    Rev: ☐

Item ID: UIC 54-190-TG 1/9. Cambiavias

Failure Mode Description:  
Roptura intransitable de aguja curva

Local Effects:  
Cambiavias no acciona

Next Higher Effects:  
Descarrilamiento

End Effects:  
Accidente ferroviario que probablemente puede ocasionar afectacion a la seguridad de las personas y equipos

Detection Method:  
Sistema de senalizacion e inspeccion visual

Severity Class:  
1 - Catastrophic

Item ID code of failed item:  
UIC 54-190-TG 1/9.

Effectivity:  
Aguja curva

Part No of failed item:  
2022757

Operating Phase:  
Phase I

MTBF:  
12960    A - Operating Hours



### 3.8.8 Consecuencias de las fallas.

Ilustración 55 – Clasificación y categorías de la severidad.

**FAILURE MODE, EFFECTS, AND  
CRITICALITY ANALYSIS (FMECA)**

**FMECA Terms:**

**FMECA**

**SEVERITY CLASSIFICATION**

A category assigned to a failure mode based on the impacts if its potential effects.

Categories are defined by the organization performing the analysis

Categories for the same failure mode may be different in different operating phases or scenarios

NAV AIR

**FAILURE MODE, EFFECTS, AND  
CRITICALITY ANALYSIS (FMECA)**

**FMECA Terms:**

**FMECA**

**SEVERITY CATEGORY**

<b>Category I</b>	<b>Catastrophic</b>
<b>Category II</b>	<b>Critical</b>
<b>Category III</b>	<b>Marginal</b>
<b>Category IV</b>	<b>Minor</b>



**FAILURE MODE, EFFECTS, AND  
CRITICALITY ANALYSIS (FMECA)**

**FMECA Terms:**

**FMECA**

**MEAN TIME BETWEEN FAILURE (MTBF)**

Basic measure of reliability for an item.

- Average time between failure occurrences during a specified period with no preventive measures in place
  - Usually: Total operating time in given period divided by number of failures that have occurred
  - Inverse of the failure rate
  - Adjustment required if PM is already in-place

Used in RCM for prioritizing failure modes, performing cost analysis and Failure Finding Task Interval Calculations

NAV AIR

**FAILURE MODE, EFFECTS, AND  
CRITICALITY ANALYSIS (FMECA)**

**Calculating MTBF:**

**FMECA**

**CALCULATING MTBF (Method 1)**

- Total operating time/number of failures (mature populations in a specified time period)
- When no failures have occurred use a conservative estimate
  - Evaluate like and similar equipment
  - Consider possibility of failure in short period of time

NAV AIR

## FAILURE MODE, EFFECTS, AND CRITICALITY ANALYSIS (FMECA)

***Calculating MTBF:***

**FMECA**

### **CALCULATING MTBF (Method 2)**

Use Design or predicted values

- **Data sources:**
  - Design/vendor specs
  - “Like and similar” equipment
  - Analytical/handbook predictions
- **Caution: Often inaccurate**
  - Verify with real data if possible
  - Adjust with conservatism where necessary
  - Monitor/Update when field data becomes available

NAV  AIR

## FAILURE MODE, EFFECTS, AND CRITICALITY ANALYSIS (FMECA)

***Calculating MTBF:***

**FMECA**

### **CALCULATING MTBF (Method 3)**

Statistical Modeling methods

- **Beyond scope of this course**
  - Requires specialized training and knowledge
- **May be most accurate if properly performed**

NAV  AIR

Ilustración 57 – Clasificación de la criticidad.

# FAILURE MODE, EFFECTS, AND CRITICALITY ANALYSIS (FMECA)

## Criticality

## FMECA

- Combination of Severity and Frequency (MTBF)
- Hazard Risk Index (HRI)
- Risk Priority Number (RPN)

SEVERITY \ FREQUENCY	FREQUENT (A) ≥ 1 per 1,000 Hours	PROBABLE (B) ≥ 1 per 10,000 Hours	OCCASIONAL (C) ≥ 1 per 100,000 Hours	REMOTE (D) ≥ 1 per 1,000,000 Hrs	IMPROBABLE (E) ≤ 1 per 1,000,000
<b>CATASTROPHIC (I)</b> • Death or Permanent disability • Significant Environmental breach • Damage > \$1M, Downtime > 2 days • Destruction of system/equipment	1 HIGH	2 HIGH	4 HIGH	8 MED	12 ACCEPT
<b>CRITICAL (II)</b> • Personal Injury • Damage > \$100K and < \$1M • Loss of availability > 24 hrs and < 7 days	3 HIGH	5 HIGH	6 MED	10 LOW	15 ACCEPT
<b>MARGINAL (III)</b> • Damage > \$10K and < \$100K • Loss of availability > 4 hrs and < 24 hrs	7 MED	9 MED	11 LOW	14 ACCEPT	17 ACCEPT
<b>MINOR (IV)</b> • Damage < \$10K • Loss of availability < 4 hrs	13 ACCEPT	16 ACCEPT	18 ACCEPT	19 ACCEPT	20 ACCEPT

NAV AIR

Ilustración 58 – Evaluación de la severidad.

**Setup**

General | Default | Level of Maintenance | Publications | Packages | Operating Phases | Users | CF (Operating Hour/Unit) | **Severity Classes** | Failure Frequencies | HRI Matrix

A Severity Class indicates the severity of the consequences should a particular failure occur.

Severity classes are defined by the user to categorize these various levels of severity.

The Severity Classes are required to create the Hazard Risk Matrix.

Select a Severity Class:

<<< Add New Severity Class >>>

- 1 Catastrophic
- 2 Critical
- 3 Major
- 4 Minor

Edit or Add Severity Class:

Severity Class Description: Catastrophic

Priority: 1

Higher Lower

Delete Save Continue

Ilustración 59 – Evaluación tiempo medio entre fallas (MTBF).

**Failure Mode - UIC 54-190-TG 1/9. - 01A01**

Item ID: UIC 54-190-TG 1/9. Cambiavias FMI: 01 - A - 01 Rev:

Failure Mode Description: Ruptura intransitable de aguja curva

Local Effects: Cambiavias no acciona

Next Higher Effects: Descarrilamiento

End Effects: Accidente ferroviario que probablemente puede ocasionar afectacion a la seguridad de las personas y equipos

Detection Method: Sistema de senalizacion e inspeccion visual

Severity Class: 1 - Catastrophic

Item ID code of failed item: UIC 54-190-TG 1/9.

Effectivity: Aguja curva

Part No of failed item: 2022757

Operating Phase: Phase I

MTBF: 12960 A - Operating Hours

**Failure Mode\***

Hard-time\* Failure Consequences Failure Finding Service/Lube\* On-condition\* Cost/Downtime Analysis\* Package / Summary\* Age Exploration\* Other Action / No PM HRI Matrix

Print Save Continue Cancel Memo

Ilustración 60 – Evaluación de la criticidad.

Failure Mode - UIC 54-190-TG 1/9, - 01A01

Item ID: UIC 54-190-TG 1/9. Cambiavias FMI: 01 - A - 01 Rev: ☐

HRI Matrix

	Frequent	Probable	Occasional	Remote	Improbable
Catastrophic	1A	1B	1C	1D	1E
Critical	2A	2B	2C	2D	2E
Major	3A	3B	3C	3D	3E
Minor	4A	4B	4C	4D	4E

Legend:

- HIGH (Red)
- MEDIUM (Yellow)
- LOW (Green)
- ACCEPTABLE (Blue)

HRI Matrix Controls

Unmitigated  
MTBF: 12960 Operating Hours Severity Class: 1 - Catastrophic

Mitigated  
MTBF: 8760 A - Operating Hour Severity Class: 1 - Catastrophic

Cost/Downtime Analysis\* Package / Summary\* HRI Matrix On-condition\*

Failure Mode\* Failure Consequences Service/Lube\* Other Action / No PM

Hard-time\* Failure Finding Age Exploration\*

Print Save Continue Cancel Memo

### 3.8.9 Tareas de mantenimiento.

Para determinar las tareas de mantenimiento inicialmente se aplica la lógica decisional, este es el proceso mediante el cual se determina qué acciones se implementara para eliminar o disminuir las consecuencias que resultan de la ocurrencia de un modo de fallo en particular, este tema se profundizo en el capítulo dos con mayor detalle.

Ilustración 61 – Lógica decisional RCM.

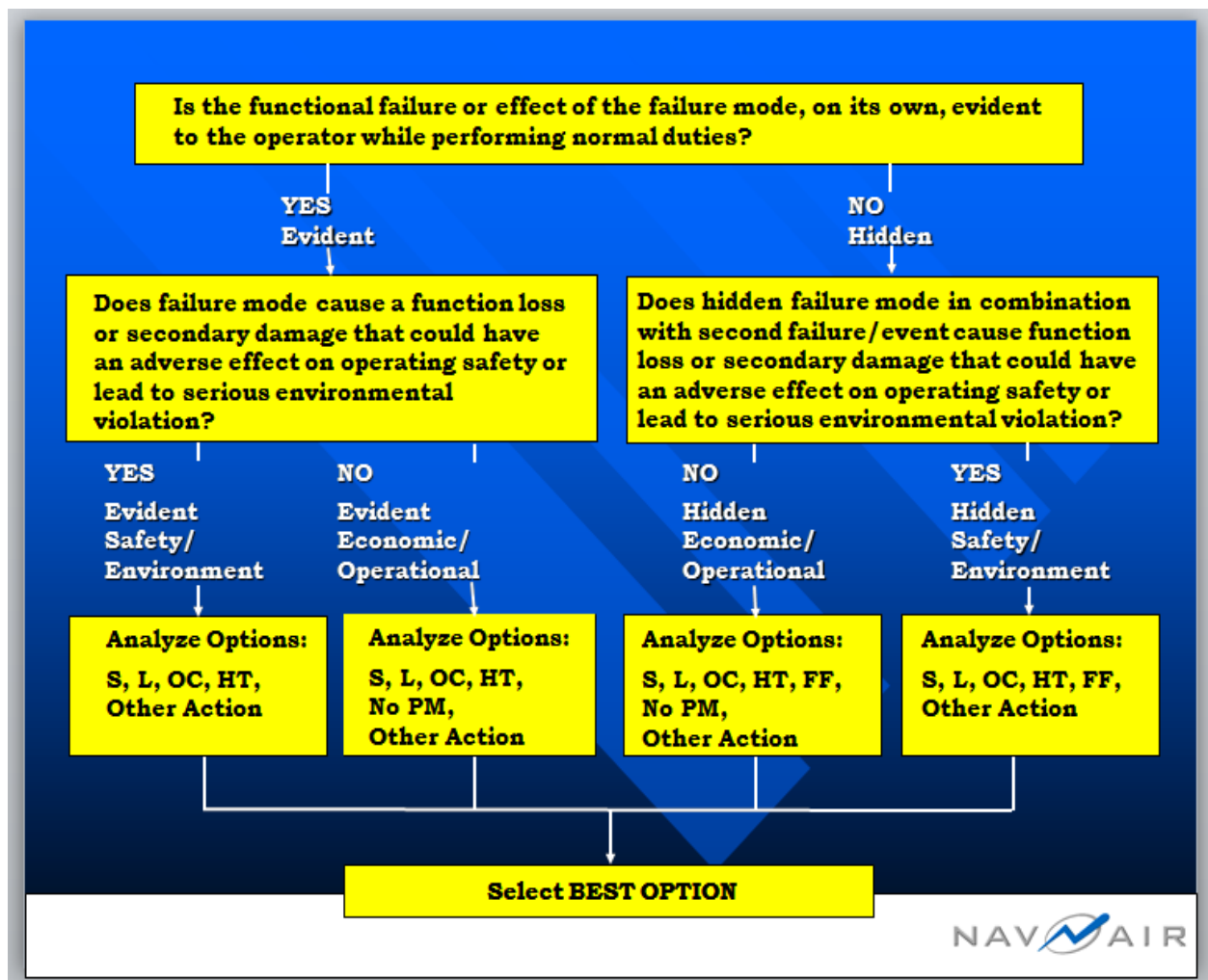


Ilustración 62 – Evaluación lógica decisonal IRCMS.

Failure Mode - UIC 54-190-TG 1/9. - 01A01

Item ID: UIC 54-190-TG 1/9. Cambiavias FMI: 01 - A - 01 Rev: ☐

Information from UIC 54-190-TG 1/9. - 01

Function Description:  
Permitir el cambio de un vehiculo ferroviario de una via a otra a velocidad max de 40 km/h de manera segura y confiable.

1. Does loss of the function have an adverse effect on safety or environment? Yes  
 2. Does loss of the function have an adverse effect on operations? n/a  
 3. Does loss of the function have an adverse economical impact? n/a  
 4. Is this function protected by an existing PM task? n/a

Failure Mode  
Roptura intransitable de aguja curva

☒ Evident ☐ Hidden

☒ Safety / Environmental ☐ Operational / Economic

Ilustración 63 – Evaluación tareas de mantenimiento.

Failure Mode*	<b>Failure Consequences</b>	Service/Lube*	On-condition*
Hard-time*	Failure Finding	Age Exploration*	Other Action / No PM
Cost/Downtime Analysis*	Package / Summary*	HRI Matrix	


Print Save Continue Cancel Memo



## RCM DECISION LOGIC

**Servicing:**

**Task Evaluation**



The replenishment of consumable materials that are depleted during normal operations.

NAV AIR

This slide illustrates the 'Servicing' task within the RCM Decision Logic framework. It features a photograph of two technicians working on an aircraft engine. One technician is standing and holding a component, while the other is kneeling and using a tool. The background shows the aircraft's engine and propeller. The text defines servicing as the replenishment of consumable materials depleted during normal operations.

## RCM DECISION LOGIC

**Lubrication:**

**Task Evaluation**



The scheduled lubrication of a component (usually based on the manufacture's recommendations) where the item's design requires a non-permanent lubricant for proper operation

NAV AIR

This slide illustrates the 'Lubrication' task within the RCM Decision Logic framework. It features a photograph of a technician applying lubricant to a component of a green and white aircraft. The text defines lubrication as the scheduled lubrication of a component based on manufacturer's recommendations, where a non-permanent lubricant is required for proper operation.



Ilustración 65 – Evaluación de tareas de servicio.

**FMECA & RCM Information**

**UIC 54-190-TG 1/9. Cambiavias**

- 01 Permitir el cambio de un vehiculo ferroviario de u
  - A El cambiavias no permite el cambio de via
  - 01 Roptura intransitable de aguja curva

**Failure Mode - UIC 54-190-TG 1/9. - 01A01**

Item ID: UIC 54-190-TG 1/9. Cambiavias      FMI: 01 - A - 01      Rev: ☐

Task ID:  #

Task Description:  
Realizar soldadura de recargue o esmerilado manual

Preliminary Task Interval:  A - Operating Hours      Task Man Hours:

Preliminary LOM:       Task Material Cost:

Packaged Task Interval:  A - Operating Hours      Non Recurring Cost:

Packaged LOM:       Elapsed Maintenance Time:  (hours)

Cost of One Service/Lube Task:

Preliminary:  -->

Packaged:  -->

Task Accepted ☒

Failure Mode\*      Failure Consequences      **Service/Lube\***      On-condition\*

Ilustración 66 – Evaluación de tareas de lubricación.

FMECA & RCM Information

**UIC 54-190-TG 1/9. Cambiavias**  

- + 01 Permitir el cambio de un vehiculo ferroviario de u
- + 02 Permitir la continuidad del viaje de los vehiculos
- + 03 Servir de dispositivo de proteccion de flanqueo (p
- + 04 Servir de soporte estructural para los vehiculos f
- 05 Permitir el accionamiento mecanico de manera manua
  - + A Cambiavias no acciona
  - B Cambiavias duro de accionar
    - 01 Falta de lubricacion

**Failure Mode - UIC 54-190-TG 1/9. - 05B01**
X

Item ID: UIC 54-190-TG 1/9. Cambiavias
FMI: 05 - B - 01
Rev: ☐

Task ID:  #

Task Description:

Preliminary Task Interval:  A - Operating Hours ▾  
Preliminary LOM:  ▾  
Packaged Task Interval:  A - Operating Hours ▾  
Packaged LOM:  ▾

Task Man Hours:   
Task Material Cost:   
Non Recurring Cost:   
Elapsed Maintenance Time:  (hours)

Cost of One Service/Lube Task:  

Preliminary:

-->

Packaged:

-->

## RCM DECISION LOGIC

On-Condition	Task Evaluation
<p><b>Periodic or continuous inspection designed to detect a potential failure condition prior to functional failure.</b></p>  <p>NAV AIR</p>	

## ON CONDITION TASK

- If the inspection reveals a potential failure condition, corrective action must be taken
- If potential failure condition does not exist, nothing is done, item continues in service
- On-condition task objective is to maximize the useful life of each piece of equipment by allowing operation until a potential failure is detected
- Task includes only inspection portion of the maintenance action
- Can be accomplished with Condition Monitoring/PdM/PHM systems

NAV AIR

Ilustración 68 – Curva P– F e intervalo P– F.

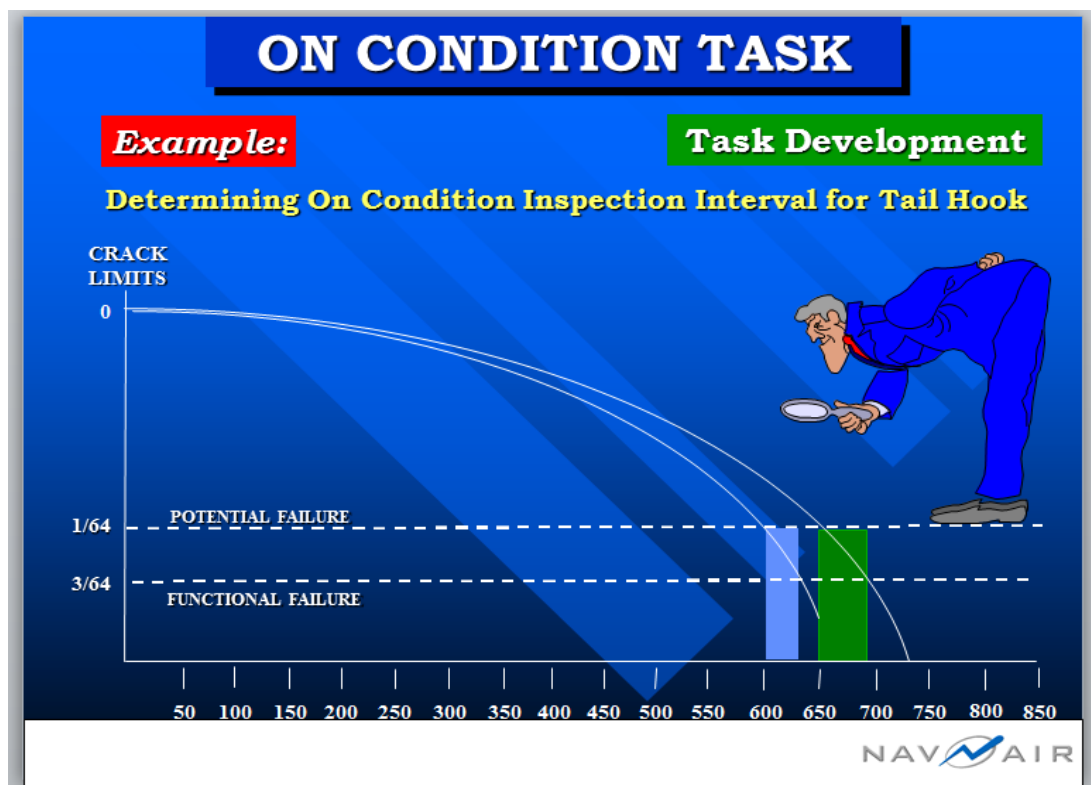
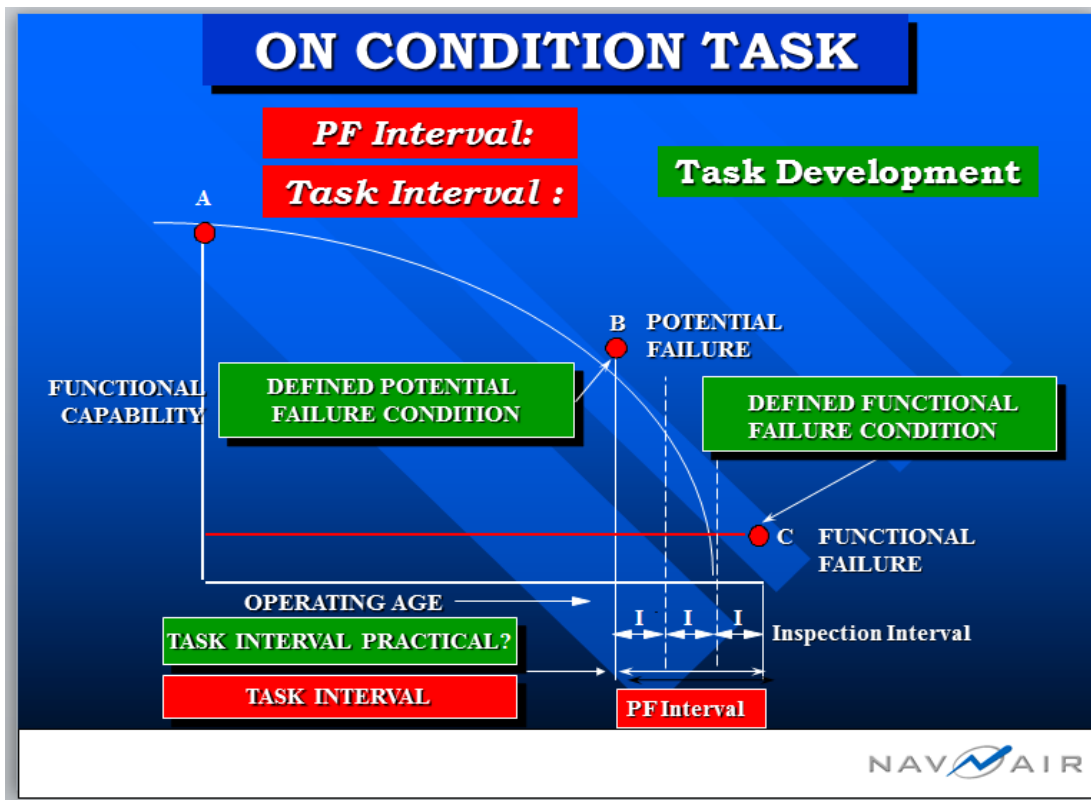


Ilustración 69 – Evaluación de tareas basadas en monitoreo de condición.

**Failure Mode - UIC 54-190-TG 1/9. - 01A01**

Item ID: UIC 54-190-TG 1/9. Cambiavias FMI: 01 - A - 01 Rev: ☐

Task ID: 0002 #

Potential Failure Condition:  
Formacion de Grietas en Aguja Curva

Functional Failure Condition:  
Roptura Aguja Curva

Potential to Functional Failure Interval: 720 A - Operating Hours

Task Description:  
Inspeccion visual periodica, segun necesidad aplica liquidos penetrantes o inspeccion con ultrasonido

Preliminary Task Interval: 168 A - Operating Hours Inspection Manhours: 2

Preliminary Initial Inspection: 168 A - Operating Hours Inspection Material Cost: \$ 100.000,00

Preliminary LOM: Auxiliar INF V.P. Non Recurring Cost: \$ 0,00

Packaged Task Interval: 168 A - Operating Hours Inspect EMT: 168 (hours)

Packaged Initial Inspection: 168 A - Operating Hours Average Repair Cost: \$ 15.000.000,00

Packaged LOM: Profesional 2 INI Average Repair EMT: 72,00 (hours)

MTBCA: 157680 A - Operating Hours Cost of One On Condition Task:

Detection Probability: 95 (Percent in one inspection) Preliminary: \$ 111.000,00 --> \$ 111.000,00

Packaged: \$ 121.000,00 --> \$ 121.000,00

Task Accepted ☒

Failure Mode\* Failure Consequences Service/Lube\* On-condition\*

Hard-time\* Failure Finding Age Exploration\* Other Action / No PM

Cost/Downtime Analysis\* Package / Summary\* HRI Matrix

Print Save Continue Cancel Memo

**FMECA & RCM Information**

**UIC 54-190-TG 1/9. Cambiavias**

01 Permitir el cambio de un vehiculo ferroviario de u

A El cambiavias no permite el cambio de via

01 Roptura intransitable de aguja curva

**Memo - Failure Mode - UIC 54-190-TG 1/9. - 01A01**

**TAREA DE SERVICIO:**  
Consiste en reponer el material faltante debido a una deformacion o perdida del mismo mediante un proceso de aporte con soldadura de arco electrico, tambien se puede realizar un esmerilado manual para remover el material sobrante y recuperar la geometria inicial de la aguja:

Cuadrilla de recargue: Conformada por tres personas: soldador calificado, conductor de vehiculo auxiliar y maniobrista

**TAREA DE MONITOREO DE CONDICION**  
Consiste en inspecciones visuales que se realizan con frecuencia semanal para identificar grietas superfiviales y microfisuras, si se determina necesario se puede realizar inspeccion con liquidos penetrantes o con equipo de ultrasonido, en esta rutina tambien se realiza inspección con aparato calibre de agujas para verificar el paso de la pestaña por la aguja.

Inspeccion visual: Conformado minimo por dos personas, si se requiere aplicar liquidos penetrantes o inspeccion con equipos de ultrasonido se necesita personal pacacitado en estas tecnicas.

Ilustración 70 – Hard time task.



Ilustración 71 – Evaluación de tareas de tiempo difícil.

Failure Mode - UIC 54-190-TG 1/9. - 01A02

Item ID: UIC 54-190-TG 1/9. Cambiavias FMI: 01 - A - 02 Rev:

Task ID: 006 #

Task Description:

Inspeccion con medidor de alturas para realizar seguimiento al desgaste del riel, maximo permitido por normas de seguridad ferroviaria: 12 mm si se alcanza este valor de desgaste obligatorio programar el cambio del componente.

Wearout Age/Life Limit: 12 H - mm

Preliminary Task Interval: 8760 A - Operating Hours

Preliminary LOM: Profesional 2 INI

Packaged Task Interval: 8760 A - Operating Hours

Packaged LOM: Profesional 2 INI

Task Manhours: 2

Task Material Cost: \$ 150.000,00

Non Recurring Cost: \$ 0,00

Task EMT: 8760 (hours)

Average HT Repair Cost: \$ 20.000.000,00

Average HT Repair EMT: 168,00 (hours)

Cost of one Hard Time

Preliminary: \$ 171.000,00 --> \$ 171.000,00

Packaged: \$ 171.000,00 --> \$ 171.000,00

Percent Survive: 1 % (enter from 0% to 100%)

K Factor: 1 % (enter from 0% to 100%)

Task Accepted ☒



## RCM DECISION LOGIC

**Failure Finding:** **Task Evaluation**



**A preventive maintenance task performed at a specified interval to determine whether a hidden functional failure has occurred.**

NAV AIR

## FAILURE FINDING TASK

**Hidden Failure:** **Task Development**

- **Failure Finding Tasks are most often used to address failures of back-up or redundant systems or indicating/monitoring systems**
- **Failure Finding task only applies to hidden failures.**
- **Hidden failures require the occurrence of an additional failure or event before any adverse consequences are experienced.**
- **A Failure Finding task may be appropriate to detect failure of PHM or condition monitoring systems which are being used to detect other failures**

NAV AIR

Ilustración 73 – Other action.

## RCM DECISION LOGIC

**Other Action Warranted:**

**Task Evaluation**

**Other Action: Usually a one time action, other than PM, that will effectively reduce the consequences of failure to an acceptable level**

- Item redesign
- Change in an operational or maintenance procedure
- Operating restrictions
- Etc.




Ilustración 74 – Evaluación de no PM y otras acciones.

**Failure Mode - UIC 54-190-TG 1/9. - 01A03**

Item ID: UIC 54-190-TG 1/9. Cambiavias
FMI: 01 - A - 03
Rev: ☐

**Other Action**

Task ID:  #

Description:

Total Cost:

Total Elapsed Maintenance Time:  (hours)

Task Accepted ☒

**No PM**

MTBF:  A - Operating Hours

Average Repair Cost:

Total Elapsed Maintenance Time:  (hours)

**Life Cycle Costs**

System Life Remaining: <input type="text" value="175200"/>	-->	Stored Value <input type="text" value="175200"/> in hours		LCC after RCM/update: <input type="text" value="\$ 0,00"/>	-->	Calculated Value <input type="text" value="\$ 0,00"/>
Analysis Cost: <input type="text" value="\$ 2.000.000,00"/>				LCC before RCM/update: <input type="text" value="\$ 500.000,00"/>		
				LCC Savings: <input type="text" value="(\$ 1.500.000,00)"/>		

Hard-time
Failure Finding
Age Exploration

Cost/Downtime Analysis\*
Package / Summary\*
HRI Matrix

Failure Mode\*
Failure Consequences
Service/Lube

**Other Action / No PM\***

On-condition



Ilustración 75 – Reporte FMECA páginas 8 de 8.

FMECA Report

Print Date: 15/04/2017

IRCMS

ITEM IDENT NO.	ITEM NOMEN	FUNCTION		FUNCTIONAL FAILURE		FAILURE MODE		MISSION PHASE	FAILURE EFFECTS			FAILURE DETECTION METHOD	SEV CLASS	MTBF/UNITS
		NO.	Description	LTR	Description	NO.	Description		LOCAL EFFECTS	NEXT HIGHER EFFECTS	END EFFECTS			
UIC 54-190 -TG 1/9.	Cambavias	01	Permitir el cambio de un vehículo ferroviario de una vía a otra a velocidad max de 40 km/h de manera segura y confiable.	A	El cambavias no permite el cambio de vía	01	Ruptura intransitable de aguja curva	Phase I	Cambavias no acciona	Descarrilamiento	Accidente ferroviario que probablemente puede ocasionar afectación a la seguridad de las personas y equipos	Sistema de señalización e inspección visual	1	12.960.00/A
UIC 54-190 -TG 1/9.	Cambavias	01	Permitir el cambio de un vehículo ferroviario de una vía a otra a velocidad max de 40 km/h de manera segura y confiable.	A	El cambavias no permite el cambio de vía	02	Ruptura intransitable de contraaguja curva	Phase I	Cambavias no acciona	Descarrilamiento	Accidente ferroviario que probablemente puede ocasionar afectación a la seguridad de las personas y equipos	Sistema de señalización e inspección visual	1	12.960.00/A
UIC 54-190 -TG 1/9.	Cambavias	01	Permitir el cambio de un vehículo ferroviario de una vía a otra a velocidad max de 40 km/h de manera segura y confiable.	A	El cambavias no permite el cambio de vía	03	Obstaculo bloquea movimiento de la aguja	Phase I	Cambavias no acciona (no da comprobación)	No se establece el itinerario (no hay señal permisiva para autorizar el movimiento de vehículos)	Atrasos en el servicio comercial	Inspección visual	2	12.960.00/A
UIC 54-190 -TG 1/9.	Cambavias	01	Permitir el cambio de un vehículo ferroviario de una vía a otra a velocidad max de 40 km/h de manera segura y confiable.	A	El cambavias no permite el cambio de vía	04	Ruptura intransitable de corazón	Phase I	Movimiento brusco al paso del vehículo	Descarrilamiento	Accidente ferroviario que puede ocasionar daños a la seguridad de las personas y equipos	Radiografías, e inspección visual	1	38.880.00/A
UIC 54-190 -TG 1/9.	Cambavias	01	Permitir el cambio de un vehículo ferroviario de una vía a otra a velocidad max de 40 km/h de manera segura y confiable.	A	El cambavias no permite el cambio de vía	05	Talonamiento del Cambavias	Phase I	Deformación del cambavias	El vehículo se ubica en una vía diferente a la destinada según itinerario	Atrasos en el servicio comercial	Alarma de indicación Cambavias talonado en el Puesto Central de Control PCC	2	68.400.00/A

Page 1 of 8

Page 1 of 8

FMECA Report

Print Date: 15/04/2017

IRCMS

ITEM IDENT NO.	ITEM NOMEN	FUNCTION		FUNCTIONAL FAILURE		FAILURE MODE		MISSION PHASE	FAILURE EFFECTS			FAILURE DETECTION METHOD	SEV CLASS	MTBF/UNITS
		NO.	Description	LTR	Description	NO.	Description		LOCAL EFFECTS	NEXT HIGHER EFFECTS	END EFFECTS			
UIC 54-190 -TG 1/9.	Cambavias	01	Permitir el cambio de un vehículo ferroviario de una vía a otra a velocidad max de 40 km/h de manera segura y confiable.	B	El cambavias permite el cambio de vía a velocidades menores de 40 Km/h.	01	Mal acople entre aguja y contraaguja (abertura máxima de 4,0 mm)	Phase I	No hay comprobación del Cambavias	Descarrilamiento	Accidente ferroviario que puede ocasionar daños a la seguridad de las personas y equipos	Inspección visual, prueba de comprobación h. 4,0mm	1	6.840,00/A
UIC 54-190 -TG 1/9.	Cambavias	01	Permitir el cambio de un vehículo ferroviario de una vía a otra a velocidad max de 40 km/h de manera segura y confiable.	B	El cambavias permite el cambio de vía a velocidades menores de 40 Km/h.	02	Continuidad en Junta Alisante	Phase I	Falsa ocupación en la vía	El sistema no permite el despacho automático de los trenes, se autoriza marchar con velocidad reducida (menor a 40Km/h)	Atrasos en el servicio comercial	Alarma de falsa ocupación en la vía se presenta en el puesto central de control PCC	2	6.480,00/A
UIC 54-190 -TG 1/9.	Cambavias	01	Permitir el cambio de un vehículo ferroviario de una vía a otra a velocidad max de 40 km/h de manera segura y confiable.	B	El cambavias permite el cambio de vía a velocidades menores de 40 Km/h.	03	Cambavias desalineado y/o desnivelado	Phase I	Movimiento brusco al paso del vehículo	Descarrilamiento	Accidente ferroviario que puede ocasionar daños a la seguridad de las personas y equipos	Inspección visual, inspección parámetros geométricos, inspección de ALC	1	12.960,00/A
UIC 54-190 -TG 1/9.	Cambavias	01	Permitir el cambio de un vehículo ferroviario de una vía a otra a velocidad max de 40 km/h de manera segura y confiable.	B	El cambavias permite el cambio de vía a velocidades menores de 40 Km/h.	04	Cota de protección fuera de tolerancia	Phase I	Movimiento brusco al paso del tren	Descarrilamiento	Accidente ferroviario que puede ocasionar daños a la seguridad de las personas y equipos	Inspección geométrica	1	12.960,00/A
Objeto de texto														

Page 2 of 8

Page 2 of 8

Objeto de texto

# FMECA Report

Print Date: 15/04/2017

IRCMS

ITEM IDENT NO.	ITEM NOMEN	FUNCTION		FUNCTIONAL FAILURE		FAILURE MODE		MISSION PHASE	FAILURE EFFECTS			FAILURE DETECTION METHOD	SEV CLASS	MTBF/UNITS
		NO.	Descripción	LTR	Descripción	NO.	Descripción		LOCAL EFFECTS	NEXT HIGHER EFFECTS	END EFFECTS			
UIC 54-190 -TG 1/9.	Cambavías	01	Permitir el cambio de un vehículo ferroviario de una vía a otra a velocidad max de 40 km/h de manera segura y confiable.	B	El cambavías permite el cambio de vía a velocidades menores de 40 Km/h.	05	Desgaste ondulatorio en aguja curva	Phase I	Vibraciones en el tren	Desgastes acelerados en la aguja	Restricción de velocidad menor de 40 km/h	Inspección visual, si se requiere realizar inspección con equipo medidor de alturas Trolley y equipos de corrugación Miniprof	2	12.960,00/A
UIC 54-190 -TG 1/9.	Cambavías	02	Permitir la continuidad del viaje de los vehículos ferroviarios sobre la misma vía a 80km/h de forma segura y confiable	A	No permite la continuidad del viaje de los vehículos ferroviarios sobre la misma vía	01	Ruptura intransitable de aguja	Phase I	Cambavías no acciona	Descarrilamiento	Accidente ferroviario que puede ocasionar daños a la seguridad de las personas y equipos	Inspección visual	1	12.960,00/A
UIC 54-190 -TG 1/9.	Cambavías	02	Permitir la continuidad del viaje de los vehículos ferroviarios sobre la misma vía a 80km/h de forma segura y confiable	A	No permite la continuidad del viaje de los vehículos ferroviarios sobre la misma vía	02	Ruptura intransitable de contraaguja	Phase I	Cambavías no acciona	Descarrilamiento	Accidente ferroviario que puede ocasionar daños a la seguridad de las personas y equipos	Inspección visual	1	0.00/
UIC 54-190 -TG 1/9.	Cambavías	02	Permitir la continuidad del viaje de los vehículos ferroviarios sobre la misma vía a 80km/h de forma segura y confiable	A	No permite la continuidad del viaje de los vehículos ferroviarios sobre la misma vía	03	Obstáculo bloquea movimiento de la aguja	Phase I	Cambavías no acciona (no da comprobación)	No se establece el itinerario (no hay señal permitiva para autorizar el movimiento de vehículos)	Atrasos en el servicio comercial	Inspección visual	2	0.00/

Page 3 of 8

# FMECA Report

Print Date: 15/04/2017

IRCMS

ITEM IDENT NO.	ITEM NOMEN	FUNCTION		FUNCTIONAL FAILURE		FAILURE MODE	MISSION PHASE	FAILURE EFFECTS			FAILURE DETECTION METHOD	SEV CLASS	MTBF/UNITS	
		NO.	Descripción	LTR	Descripción			NO.	Descripción	LOCAL EFFECTS				NEXT HIGHER EFFECTS
UIC 54-190 -TG 1/9.	Cambavías	02	Permitir la continuidad del viaje de los vehículos ferroviarios sobre la misma vía a 80Km/h de forma segura y confiable	A	No permite la continuidad del viaje de los vehículos ferroviarios sobre la misma vía	03	Obstáculo bloquea movimiento de la aguja	Phase I	Cambavías no acciona (no da comprobación)	No se establece el itinerario (no hay señal permitiva para autorizar el movimiento de vehículos)	Atrasos en el servicio comercial	Inspección visual	2	0.00/
UIC 54-190 -TG 1/9.	Cambavías	02	Permitir la continuidad del viaje de los vehículos ferroviarios sobre la misma vía a 80Km/h de forma segura y confiable	A	No permite la continuidad del viaje de los vehículos ferroviarios sobre la misma vía	04	Ruptura intransitable de corazón	Phase I	Movimiento brusco al paso del vehículo	Descarrilamiento	Accidente ferroviario que puede ocasionar daños a la seguridad de las personas y equipos	Radiografías, e inspección visual	1	0.00/
UIC 54-190 -TG 1/9.	Cambavías	02	Permitir la continuidad del viaje de los vehículos ferroviarios sobre la misma vía a 80Km/h de forma segura y confiable	A	No permite la continuidad del viaje de los vehículos ferroviarios sobre la misma vía	05	Talonamiento del Cambavías	Phase I	Deformación del cambavías	El vehículo se ubica en una vía diferente a la destinada según itinerario	Atrasos en el servicio comercial	Alarma de indicación Cambavías talonado en el Puesto Central de Control PCC	2	0.00/
UIC 54-190 -TG 1/9.	Cambavías	02	Permitir la continuidad del viaje de los vehículos ferroviarios sobre la misma vía a 80Km/h de forma segura y confiable	B	El Cambavías permite la continuidad del viaje a velocidades menores de 40 Km/h.	01	Mal acople entre aguja y contraaguja (abertura máximo de 4.0 mm)	Phase I	No hay comprobación del Cambavías	Descarrilamiento	Accidente ferroviario que puede ocasionar daños a la seguridad de las personas y equipos	Inspección visual, prueba de comprobación 4.0mm	1	0.00/
UIC 54-190 -TG 1/9.	Cambavías	02	Permitir la continuidad del viaje de los vehículos ferroviarios sobre la misma vía a 80Km/h de forma segura y confiable	B	El Cambavías permite la continuidad del viaje a velocidades menores de 40 Km/h.	02	Continuidad en Junta Alzante	Phase I	Falsa ocupación en la vía	El sistema no permite el despacho automático de los trenes, se autoriza marchar con velocidad reducida (menor a 40Km/h)	Atrasos en el servicio comercial	Alarma de falsa ocupación en la vía se presenta en el puesto central de control PCC	2	0.00/

Page 4 of 8

# FMECA Report

Print Date: 15/04/2017

IRCMS

ITEM IDENT NO.	ITEM NOMEN	FUNCTION		LTR	FUNCTIONAL FAILURE		FAILURE MODE	MISSION PHASE	FAILURE EFFECTS			FAILURE DETECTION METHOD	SEV CLASS	MTBF/UNITS
		NO.	Description		Description	NO.	Description		LOCAL EFFECTS	NEXT HIGHER EFFECTS	END EFFECTS			
UIC 54-190 -TG 1/9.	Cambias	02	Permitir la continuidad del viaje de los vehículos ferroviarios sobre la misma vía a 80Km/h de forma segura y confiable	B	El Cambias permite la continuidad del viaje a velocidades menores de 40 Km/h.	03	Cambias desalineado y/o desniveado	Phase I	Movimiento brusco al paso del vehículo	Descarrilamiento	Accidente ferroviario que puede ocasionar daños a la seguridad de las personas y equipos	Inspección visual	1	12.960,00/A
UIC 54-190 -TG 1/9.	Cambias	02	Permitir la continuidad del viaje de los vehículos ferroviarios sobre la misma vía a 80Km/h de forma segura y confiable	B	El Cambias permite la continuidad del viaje a velocidades menores de 40 Km/h.	04	Cota de protección fuera de tolerancia (XXX ± xx)	Phase I	Movimiento brusco al paso del tren	Descarrilamiento	Accidente ferroviario que puede ocasionar daños a la seguridad de las personas y equipos	Inspección geométrica	1	0,00/
UIC 54-190 -TG 1/9.	Cambias	03	Servir de dispositivo de protección de tanqueo (proteger una marcha de otros vehículos ferroviarios)	A	El Cambias no se acciona para funcionar como dispositivo de protección de tanqueo	01	Ruptura intransitable de aguja	Phase I	Cambias no acciona	Descarrilamiento	Accidente ferroviario que puede ocasionar daños a la seguridad de las personas y equipos	Inspección visual	1	0,00/
UIC 54-190 -TG 1/9.	Cambias	03	Servir de dispositivo de protección de tanqueo (proteger una marcha de otros vehículos ferroviarios)	A	El Cambias no se acciona para funcionar como dispositivo de protección de tanqueo	02	Ruptura intransitable de contraagujas	Phase I	Cambias no acciona	Descarrilamiento	Accidente ferroviario que puede ocasionar daños a la seguridad de las personas y equipos	Inspección visual	1	0,00/
UIC 54-190 -TG 1/9.	Cambias	03	Servir de dispositivo de protección de tanqueo (proteger una marcha de otros vehículos ferroviarios)	A	El Cambias no se acciona para funcionar como dispositivo de protección de tanqueo	03	Obstáculo bloquea movimiento de la aguja	Phase I	Cambias no acciona (no da comprobación)	No se establece el itinerario (no hay señal permisiva para autorizar el movimiento de vehículos)	Atrasos en el servicio comercial	Inspección visual	2	0,00/

Page 5 of 8

# FMECA Report

Print Date: 15/04/2017

IRCMS

ITEM IDENT NO.	ITEM NOMEN	FUNCTION		LTR	FUNCTIONAL FAILURE		FAILURE MODE	MISSION PHASE	FAILURE EFFECTS			FAILURE DETECTION METHOD	SEV CLASS	MTBF/UNITS
		NO.	Description		Description	NO.	Description		LOCAL EFFECTS	NEXT HIGHER EFFECTS	END EFFECTS			
UIC 54-190 -TG 1/9.	Cambias	03	Servir de dispositivo de protección de tanqueo (proteger una marcha de otros vehículos ferroviarios)	A	El Cambias no se acciona para funcionar como dispositivo de protección de tanqueo	04	Cambias bloqueado	Phase I	Cerrojo de una acciona	Cambias no da comprobación	Atrasos en el servicio comercial	Alarma de indicación Cambias no da comprobación en el Puesto Central de Control P.C.C., Inspección visual	2	0,00/
UIC 54-190 -TG 1/9.	Cambias	04	Servir de soporte estructural para los vehículos ferroviarios	A	Cambias presenta mal asentamiento	03	Cambias desalineado y/o desniveado	Phase I	Movimiento brusco al paso del vehículo	Descarrilamiento	Accidente ferroviario que puede ocasionar daños a la seguridad de las personas y equipos	Inspección visual	1	0,00/
UIC 54-190 -TG 1/9.	Cambias	04	Servir de soporte estructural para los vehículos ferroviarios	B	Cambias desconsolidado	01	Balasto desconfiado	Phase I	Movimiento brusco al paso del vehículo, reducciones de velocidad	Descarrilamiento	Accidente ferroviario que puede ocasionar daños a la seguridad de las personas y equipos	Inspección visual	1	12.960,00/A
UIC 54-190 -TG 1/9.	Cambias	04	Servir de soporte estructural para los vehículos ferroviarios	C	Cambias presenta vibraciones	01	El Cambias presenta defectos en la superficie de rodadura	Phase I	Vibraciones al paso del tren	Desgaste acelerados	Afecta el confort de los usuarios	Inspección visual, Inspección de KLD e Inspección de Corrugación	3	12.960,00/A
UIC 54-190 -TG 1/9.	Cambias	05	Permitir el accionamiento mecánico de manera manual	A	Cambias no acciona	01	Cerrojo de una bloqueado	Phase I	Cambias no da comprobación	No se puede autorizar movimiento de trenes por el cambias, el sistema no permite el despacho automático de los trenes.	Atrasos en el servicio comercial	Señal de cambias mal posicionado, Inspección visual	2	7.000,00/A
UIC 54-190 -TG 1/9.	Cambias	05	Permitir el accionamiento mecánico de manera manual	B	Cambias duro de accionar	01	Falta de lubricación	Phase I	Cambias no acciona	No se puede autorizar movimiento de trenes por el cambias, el sistema no permite el despacho automático de los trenes.	Atrasos en el servicio comercial	Señal de cambias que no acciona y accionamiento manual	3	7.000,00/A

Page 6 of 8

# FMECA Report

Print Date: 15/04/2017

IRCMS

ITEM IDENT NO.	ITEM NOMEN	FUNCTION		FUNCTIONAL FAILURE		FAILURE MODE		MISSION PHASE	FAILURE EFFECTS			FAILURE DETECTION METHOD	SEV CLASS	MTBF/UNITS
		NO.	Descripción	LTR	Descripción	NO.	Descripción		LOCAL EFFECTS	NEXT HIGHER EFFECTS	END EFFECTS			
UIC 54-190 -TG 1/9.	Cambavías	05	Permitir el accionamiento mecánico de manera manual	B	Cambavías duro de accionar	02	Cerrojo bloqueado por altas temperaturas	Phase I	Cambavías no acciona	No se puede autorizar movimiento de trenes por el sistema no permite el despacho automático de los trenes.	Atrasos en el servicio comercial	Señal de cambavías que no acciona y accionamiento manual	3	7.000,00/A
UIC 54-190 -TG 1/9.	Cambavías	05	Permitir el accionamiento mecánico de manera manual	C	Cambavías se acciona solo	01	Cerrojo de una mala	Phase I	Cambavías cambia de posición sin ser accionado	Descarrilamiento	Accidente ferroviario que muy probablemente puede ocasionar daños a la seguridad de las personas y equipos	Señal de cambavías mal posicionado e inspección visual	1	64.800,00/A
UIC 54-190 -TG 1/9.	Cambavías	06	Permitir la conductividad eléctrica de las señales que viajan por el Cambavías	A	Pérdida total de conductividad eléctrica	01	Ruptura total de aguja o contra aguja	Phase I	Cambavías no acciona	Descarrilamiento	Accidente ferroviario que puede ocasionar daños a la seguridad de las personas y equipos	Señal de falsa ocupación o inspección visual.	1	12.960,00/A
UIC 54-190 -TG 1/9.	Cambavías	06	Permitir la conductividad eléctrica de las señales que viajan por el Cambavías	A	Pérdida total de conductividad eléctrica	02	Junta aislante quemada	Phase I	Falsa ocupación en la vía	El sistema no permite el despacho automático de los trenes, los trenes se autorizan a marchar con velocidad reducida por la zona afectada	Afecta el servicio comercial (atrasos)	Sistema de señalización en PCC, inspección visual, chequeo con elementos de medición de aislamiento en la junta	2	6.480,00/A
UIC 54-190 -TG 1/9.	Cambavías	06	Permitir la conductividad eléctrica de las señales que viajan por el Cambavías	A	Pérdida total de conductividad eléctrica	03	Junta aislante con deformación permanente	Phase I	Falsa ocupación en la vía	El sistema no permite el despacho automático de los trenes, los trenes se autorizan a marchar con velocidad reducida por la zona afectada	Afecta el servicio comercial (atrasos)	Sistema de señalización en PCC, inspección visual, chequeo con elementos de medición de aislamiento en la junta	2	6.480,00/A

Page 7 of 8

# FMECA Report

Print Date: 15/04/2017

IRCMS

ITEM IDENT NO.	ITEM NOMEN	FUNCTION		FUNCTIONAL FAILURE		FAILURE MODE		MISSION PHASE	FAILURE EFFECTS			FAILURE DETECTION METHOD	SEV CLASS	MTBF/UNITS
		NO.	Descripción	LTR	Descripción	NO.	Descripción		LOCAL EFFECTS	NEXT HIGHER EFFECTS	END EFFECTS			
UIC 54-190 -TG 1/9.	Cambavías	06	Permitir la conductividad eléctrica de las señales que viajan por el Cambavías	B	Pérdida parcial de la conductividad eléctrica	01	Junta aislante presenta lluvia	Phase I	Se presenta falsa ocupación intermitente en la vía (la falsa ocupación aparece y desaparece)	El sistema no permite el despacho automático de los trenes, los trenes se autorizan a marchar con velocidad reducida por la zona afectada	Afecta el servicio comercial (atrasos)	Sistema de señalización en PCC, inspección visual, chequeo con elementos de medición de aislamiento en la junta	2	6.480,00/A
UIC 54-190 -TG 1/9.	Cambavías	06	Permitir la conductividad eléctrica de las señales que viajan por el Cambavías	B	Pérdida parcial de la conductividad eléctrica	01	Junta aislante presenta lluvia	Phase I	Se presenta falsa ocupación intermitente en la vía (la falsa ocupación aparece y desaparece)	El sistema no permite el despacho automático de los trenes, los trenes se autorizan a marchar con velocidad reducida por la zona afectada	Afecta el servicio comercial (atrasos)	Sistema de señalización en PCC, inspección visual, chequeo con elementos de medición de aislamiento en la junta	2	6.480,00/A

## RCM Analysis Detail Report

*IRCMS*

Print Date: 15/04/2017

**End Item:** UIC 54-190-TG 1/9. Camblavias

**Item ID:** UIC 54-190-TG 1/9.

Camblavias

**Failure Mode:** 01A01

Ruptura Intransitable de aguja curva

### FMECA Information

**MTBF:** 12.960,00 Operating Hours    **Safety:** S    **Hidden/Evident:** E    **Severity:** I

**Function:**

Permitir el cambio de un vehículo ferroviario de una vía a otra a velocidad max de 40 km/h de manera segura y confiable.

**Functional Failure:**

El camblavias no permite el cambio de vía

**Local Effects:**

Camblavias no acciona

**Next Higher Effects:**

Descarrilamiento lento

**End Effects:**

Accidente ferroviario que probablemente puede ocasionar afectación a la seguridad de las personas y equipos

**Failure Detection Method:**

Sistema de señalización e inspección visual

**Effectivity:** Aguja curva

**Analysis Status:**

**Mission Phase:** Phase I

**Analyst:** Luis Fdo. Molina

**Failed Item WUC:** UIC 54-190-TG 1/9.

**Approval Date:**

**Failed Item P/N:** 2022757

**Approved By:**

Debido a lo extenso del tamaño del reporte solo se presenta la primera página.

### 3.8.10 Selección de tareas de mantenimiento.

El RCM Analysis Summary Report nos detalla en sus 37 páginas todas las tareas de mantenimientos eficaces para el equipo objeto del análisis, debido a lo extenso del tamaño de este reporte solo se presenta la primera página.

Ilustración 77 – Reporte resumen del análisis 1 de 37.

## RCM Analysis Summary Report

**Print Date:** 15/04/2017

---

**End Item:** UIC 54-190-TG 1/9. Camblavías  
**Item ID:** UIC 54-190-TG 1/9.  
 Camblavías  
**Failure Mode:** 01A01  
 Ruptura Intransitable de aguja curva

---

**MTBF:** 12.960,00 Operating Hours    **Safety:** S    **Hidden/Evident:** E    **Severity:** I

**End Effects:**  
 Accidente ferroviario que probablemente puede ocasionar afectación a la seguridad de las personas y equipos

**Failure Detection Method:**  
 Sistema de señalización e Inspección visual

**Analysis Status:**  
**Analyst:** Luis Fdo. Molina

**Approval Date:**  
**Approved By:**

---

**Summary Recommendation:**

## IRCMS

Task Set	Task Code	Type	Description	Preliminary Interval	Packaged Interval	Cost/Op Time	EMT/Op Time
->	0001	SL	Realizar soldadura de recargue o esmerillado manual	8.760,00/A	8.760,00/A	\$ 32,31/A	0,01/A
->	0002	OC	Inspección visual periódica, según necesidad aplica líquidos penetrantes o inspección con ultrasonido	168,00/A	168,00/A	\$ 755,84/A	1,01/A
		HT		/	/	/A	/A
		FF		/	/	/A	/A
		OA				/A	/A
		NO PM	No Preventive Maintenance			/A	/A

Task Package Report														IRCMS	
Print Date: 19/04/2017															
Item Code	FMI	Task Codes	SC	Task Description	Preliminary			Packaged			Task Status	Package Description	Reference Publication	Card /WP Number	Item/Para Number
					1st Insp /Units	Intvl/Units	LOM	1st Insp/Units	Intvl/Units	LOM					
UITC 54-190-T G 1.9.	01A01	0001		Realizar soldadura de recargue o emmedado manual	N/A	\$760/A	1	N/A	\$760/A	1					
UITC 54-190-T G 1.9.	01A01	0002		Inspeccion visual periodica, segun necesidad aplica liquidos penetrantes o inspeccion con ultrasonido	168/A	168/A	1	168/A	168/A	2					
UITC 54-190-T G 1.9.	01A02	0002		Inspeccion con equipos de ultrasonido para detectar defectos en el material	168/A	168/A	2	168/A	168/A	2					
UITC 54-190-T G 1.9.	01A02	003		Esmerilado manual o repafilado automatico con vehiculo Aux RGH-1 cc	N/A	\$760/A	3	N/A	\$760/A	3					
UITC 54-190-T G 1.9.	01A02	006		Inspeccion con medidor de alturas para realizar seguimiento al desgaste del riel, maximo permitido por normas de seguridad ferroviaria: 12 mm si se alcanza este valor de desgaste obligatorio programar el cambio del componente	N/A	\$760/A	2	N/A	\$760/A	2					
UITC 54-190-T G 1.9.	05B01	0025		Renovar la grasa de lubricacion del cerrojo de una (realizar retiro grasa usada y lubricar con grasa nueva)	N/A	6480/A	1	N/A	6480/A	1					

Ilustración 79 – Reporte de clasificación de costos página 1 de 3.

Cost Skills Report

Print Date: 19/04/2017

IRCMS

Item Code	FM 1	Task Code	Task Description	Preliminary			Packaged			Task Status	Zone	Skill Type	OpTime	ManHours	Material Cost	Task Cost	Repair Cost
				1st Insp/Units	Intvl/Units	LOM	1st Insp/Units	Intvl/Units	LOM								
UIC 54-190-TG 1/9.	01A01	0001	Realizar soldadura de recargue o emendado manual	N/A	\$760/A	1	N/A	\$760/A	1				\$ 32,31	6,00	\$ 150.000,00	\$ 283.000,00	N/A
		0002	Inspeccion visual periodica, segun necesidad aplica liquidos penetrantes o inspeccion con ultrasonido	168/A	168/A	1	168/A	168/A	2				\$ 755,84	2,00	\$ 100.000,00	\$ 111.000,00	\$ 15.000.000,00
	01A02	0002	Inspeccion con equipos de ultrasonido para detectar defectos en el material	168/A	168/A	2	168/A	168/A	2					2,00	\$ 100.000,00	\$ 121.000,00	\$ 8.000.000,00
		0003	Esmerilado manual o perfilado automatico con vehiculo Aux RGH-100	N/A	\$760/A	3	N/A	\$760/A	3					6,00	\$ 2.000.000,00	\$ 11.300.000,00	N/A
		0006	Inspeccion con medidor de alturas para realizar seguimiento al desgaste del riel, maximo permitido por normas de seguridad ferroviaria: 12 mm si se alcanza este valor de desgaste obligatorio programar el cambio del componente.	N/A	\$760/A	2	N/A	\$760/A	2					2,00	\$ 150.000,00	\$ 171.000,00	\$ 20.000.000,00
	05B01	0025	Renovar la grasa de lubricacion del cerrojo de un a (realizar retiro grasa usada y lubricar con grasa nueva)	N/A	6480/A	1	N/A	6480/A	1					2,00	\$ 100.000,00	\$ 259.000,00	N/A



Ilustración 80 – Listado de tareas de mantenimiento.

ITEM	EQUIPO	CODIGO	FUNCION	FALLA	MODO DE FALLA	TAREA	TIPO DE TAREA	RIESGO
1	UIC 54-190-TG 1/9.	01A01	Permitir el cambio de un vehiculo ferroviario de una via a otra a velocidad max de 40 km/h de manera segura y confiable.	El cambiavias no permite el cambio de via	Roptura intransitable de aguja curva	Recargue Esmerilado Man.	Service/Lube	1E
2	UIC 54-190-TG 1/9.	01A01	Permitir el cambio de un vehiculo ferroviario de una via a otra a velocidad max de 40 km/h de manera segura y confiable.	El cambiavias no permite el cambio de via	Roptura intransitable de aguja curva	Inspeccion Visual Liquidos P. Ultrasonido	On-Condition	1E
3	UIC 54-190-TG 1/9.	01A02	Permitir el cambio de un vehiculo ferroviario de una via a otra a velocidad max de 40 km/h de manera segura y confiable.	El cambiavias no permite el cambio de via	Roptura intransitable de contraaguja curva	Esmerilado Man. Reperfilado RGH	Service/Lube	1E
4	UIC 54-190-TG 1/9.	01A02	Permitir el cambio de un vehiculo ferroviario de una via a otra a velocidad max de 40 km/h de manera segura y confiable.	El cambiavias no permite el cambio de via	Roptura intransitable de contraaguja curva	Inspeccion Ultrasonido	On-Condition	1E
5	UIC 54-190-TG 1/9.	01A02	Permitir el cambio de un vehiculo ferroviario de una via a otra a velocidad max de 40 km/h de manera segura y confiable.	El cambiavias no permite el cambio de via	Roptura intransitable de contraaguja curva	Medir Desgaste	Hard Time	1E
6	UIC 54-190-TG 1/9.	01A03	Permitir el cambio de un vehiculo ferroviario de una via a otra a velocidad max de 40 km/h de manera segura y confiable.	El cambiavias no permite el cambio de via	Obstaculo bloquea movimiento de la aguja	Ningun Mantenimiento	Other Action NO PM	2E
7	UIC 54-190-TG 1/9.	01A04	Permitir el cambio de un vehiculo ferroviario de una via a otra a velocidad max de 40 km/h de manera segura y confiable.	El cambiavias no permite el cambio de via	Roptura intransitable de corazon	Inspeccion Visual Radiografias	On-Condition	1E
8	UIC 54-190-TG 1/9.	01A05	Permitir el cambio de un vehiculo ferroviario de una via a otra a velocidad max de 40 km/h de manera segura y confiable.	El cambiavias no permite el cambio de via	Talonamiento del Cambiavias	Ningun Mantenimiento	Other Action NO PM	2E

9	UIC 54-190-TG 1/9.	01B01	Permitir el cambio de un vehiculo ferroviario de una via a otra a velocidad max de 40 km/h de manera segura y confiable.	El cambiavias permite el cambio de via a velocidades menores de 40 Km/h.	Mal acople entre aguja y contraaguja (abertura maximo de 4,0 mm)	Inspeccion Visual	On-Condition	2E
10	UIC 54-190-TG 1/9.	01B01	Permitir el cambio de un vehiculo ferroviario de una via a otra a velocidad max de 40 km/h de manera segura y confiable.	El cambiavias permite el cambio de via a velocidades menores de 40 Km/h.	Mal acople entre aguja y contraaguja (abertura maximo de 4,0 mm)	Calibrar Cerrojo	Service/Lube	1E
11	UIC 54-190-TG 1/9.	01B02	Permitir el cambio de un vehiculo ferroviario de una via a otra a velocidad max de 40 km/h de manera segura y confiable.	El cambiavias permite el cambio de via a velocidades menores de 40 Km/h.	Continuidad en Junta Aislante	Inspeccion Visual	On-Condition	2E
12	UIC 54-190-TG 1/9.	01B02	Permitir el cambio de un vehiculo ferroviario de una via a otra a velocidad max de 40 km/h de manera segura y confiable.	El cambiavias permite el cambio de via a velocidades menores de 40 Km/h.	Continuidad en Junta Aislante	Esmerilar Reponer	Service/Lube	2E
13	UIC 54-190-TG 1/9.	01B03	Permitir el cambio de un vehiculo ferroviario de una via a otra a velocidad max de 40 km/h de manera segura y confiable.	El cambiavias permite el cambio de via a velocidades menores de 40 Km/h.	Cambiavias desalineado y/o desnivelado	Inspeccion Visual Medicion Alineacion	On-Condition	1E
14	UIC 54-190-TG 1/9.	01B03	Permitir el cambio de un vehiculo ferroviario de una via a otra a velocidad max de 40 km/h de manera segura y confiable.	El cambiavias permite el cambio de via a velocidades menores de 40 Km/h.	Cambiavias desalineado y/o desnivelado	Bateo BT 3011	Service/Lube	1E
15	UIC 54-190-TG 1/9.	01B04	Permitir el cambio de un vehiculo ferroviario de una via a otra a velocidad max de 40 km/h de manera segura y confiable.	El cambiavias permite el cambio de via a velocidades menores de 40 Km/h.	Cota de proteccion fuera de tolerancia	Medicion Cota	On-Condition	1E
16	UIC 54-190-TG 1/9.	01B04	Permitir el cambio de un vehiculo ferroviario de una via a otra a velocidad max de 40 km/h de manera segura y confiable.	El cambiavias permite el cambio de via a velocidades menores de 40 Km/h.	Cota de proteccion fuera de tolerancia	Corregir Cota	Service/Lube	1E
17	UIC 54-190-TG 1/9.	01B05	Permitir el cambio de un vehiculo ferroviario de una via a otra a velocidad max de 40 km/h de manera segura y confiable.	El cambiavias permite el cambio de via a velocidades menores de 40 Km/h.	Desgaste ondulatorio en aguja curva	Inspeccion Visual Corrugacion	On-Condition	1E
18	UIC 54-190-TG 1/9.	01B06	Permitir el cambio de un vehiculo ferroviario de una via a otra a velocidad max de 40 km/h de manera segura y confiable.	El cambiavias permite el cambio de via a velocidades menores de 40 Km/h.	Desgaste ondulatorio en aguja curva	Reperfilado RGH	Service/Lube	2E



### 3.9 CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO 3

- Para realizar proyectos en el software IRCMS es indispensable que el analista sea conocer y tenga dominio de los conceptos básicos de la táctica RCM, además de que comprenda que esta iniciativa es un trabajo multidisciplinario y no solo una implementación realizada por personal de mantenimiento.
- Se concluye que la interfaz con el software es ágil y amigable, también es importante recalcar que debido a que esta interfaz se encuentra en idioma inglés es necesario que el analista tenga conocimientos básicos en esta lengua especialmente en la traducción de los términos técnicos, esto para evitar cometer errores producto de una mala interpretación.
- El desarrollo de esta sección muestra cada uno de los pasos y las diferentes etapas que se desarrollan para realizar el correcto diligenciamiento de la información que requiere el software para realizar el análisis particular de un equipo.
- Se muestra de manera detallada como se realiza la creación del equipo y sus componentes, además de la función primaria, funciones secundarias, fallas funcionales, modos de fallas y los criterios para evaluar cada una de las diferentes tareas de mantenimiento.
- Con base en la información ingresada al sistema, también se muestran los diferentes reportes que este arroja y la forma de extraerlos para realizar los respectivos análisis.

## **4. TÓPICOS RELEVANTES**

### **4.1 OBJETIVO 4**

Construir un manual del usuario basado en el análisis contrastado de las bondades del IRCMS y de los pasos internacionales del RCM con el fin de lograr la máxima fluidez y trazabilidad por parte del usuario. – Nivel 4 – Analizar.

### **4.2 QUE ES IRCMS**

Es un software desarrollado para el NAVAL AIR SYSTEMS COMMAND con el fin de facilitar los procesos de análisis RCM, basado en el proceso NAVAIR 00– 25– 403 RCM, el cual es efectivamente utilizado en aviones militares, motores y equipos relacionados, incluyendo equipos de planta utilizados para mantener, revisar y fabricar piezas de aeronaves.

### **4.3 ACERCA DEL IRCM**

Actualmente es el principal software utilizado por NAVAIR para soportar los procesos RCM en su Sistema Integrado de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (IRCMS). IRCMS es una aplicación de escritorio diseñada para ayudar en el proceso de análisis desarrollado para la Marina de los EE.UU. es una herramienta de dominio público en la cual no hay tarifas de licencia restrictiva o costosa, el proceso es gratuito para cualquiera que desee utilizarlo. IRCMS se ha utilizado con éxito en aviones y sistemas relacionados, así como equipos industriales y en entornos comerciales, es principalmente una herramienta de ayuda para la documentación y toma de decisiones. No pretende ser una herramienta de toma de decisiones altamente automatizada ni requiere grandes cantidades de datos de fallas. Está destinada a ser utilizada con otras herramientas analíticas para un análisis más detallado.

La versión actual de IRCMS es la versión 6.3. Uno de los cambios significativos en esta versión fue la eliminación de la terminología y los procesos militares y aeronáuticos específicos. Esto debido a dos razones principales:

- NAVAIR y el Departamento de Defensa han estado utilizando cada vez más RCM en equipos no relacionados con la aviación, tales como instalaciones y equipos de fabricación.
- NAVAIR reconoce que los beneficios pueden ser obtenidos de absorber la experiencia de otros utilizando un proceso común y esperan ampliar su uso. La versión 6.3 también tiene algunas nuevas características avanzadas como la adición de una asignación de índice de riesgo de riesgo antes de RCM y post- RCM, informes mejorados y nuevas métricas de comparación de tareas.

A continuación se nombran algunas de las características más destacadas que presenta el diseño de la herramienta IRCMS:

- Definición de la jerarquía de activos
- Entrada completa de FMECA
- Grabación de las opciones de gestión de fallos e información de tareas asociadas
- Capacidad para cortar, copiar y pegar grandes partes del análisis dentro de los proyectos y hacia otros proyectos.
- Capacidad para múltiples usuarios y redes
- Imprimir una variedad de informes

- Capacidad de comparar el coste y el tiempo de inactividad de varias estrategias de gestión de fallas
- Asignación del índice de riesgo de peligro
- Seguimiento de estado del proyecto
- Empaquetado de tareas

(US-NAVAIR, 2016)

#### **4.4 MANUAL DE USUARIO IRCMS 6.3**



##### **Manual de usuario IRCMS 6.3**


##### **4.4.1 Instrucciones de instalación software iRCM.**

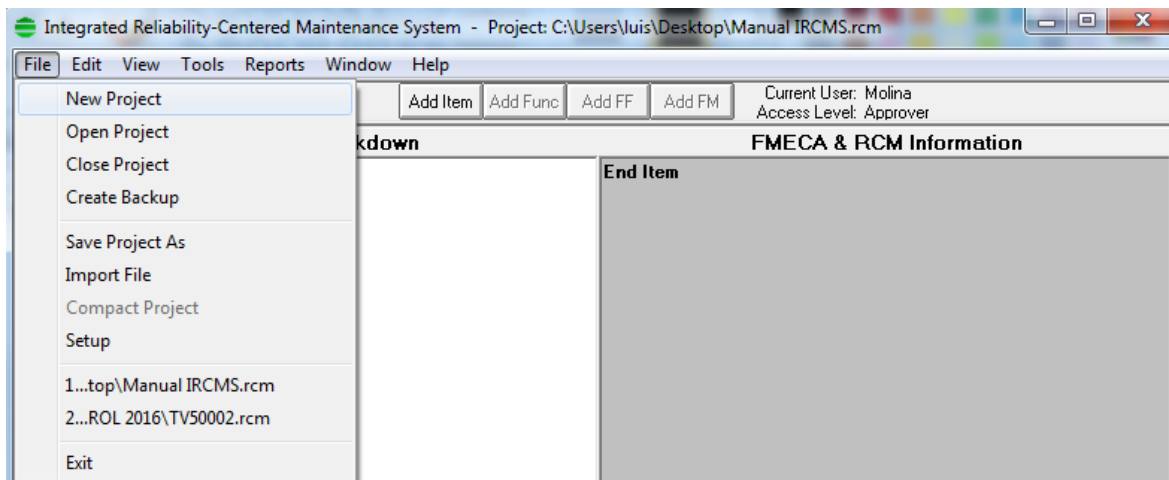
- Ingresar a la página oficial de RCM de la US NAVAIR, <http://www.webrcm.org>, en la pestaña RCM software, se encontrara

vínculo [download](#), el cual remite al vínculo [IRCMS 6.3.0 Build 56](#), dar clic e iniciar proceso de descarga.

- Correr el archivo SETUP.exe. el programa lo guía a través del proceso de instalación y crea un acceso directo en el escritorio.
- Sistemas operativos Windows 95/98/2000/Xp o NT.
- Diseñado para operar en 3454667 LAN (red de área local).

#### 4.4.2 Creación de nuevos proyectos.

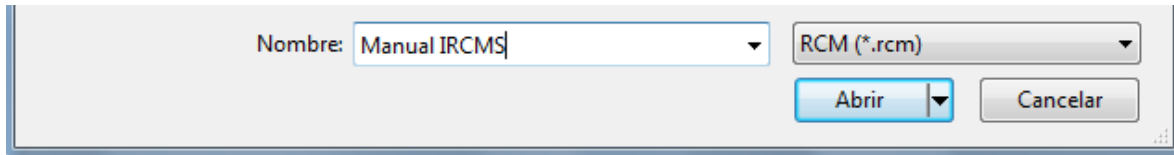
- Para crear un nuevo proyecto seleccionar el icono, .
- También lo podemos hacer en el menú principal, seleccionar FILE→, New Project.



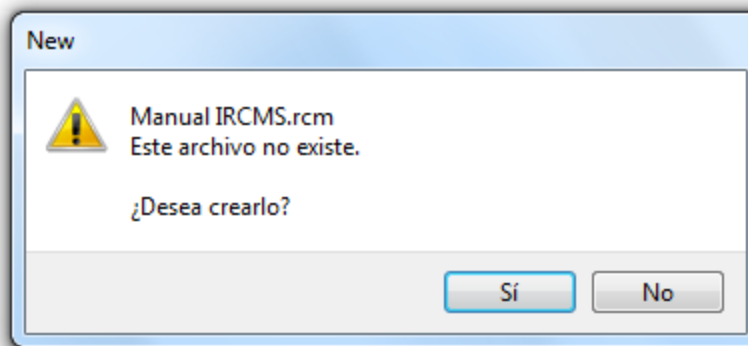
Se crea un proyecto para cada sistema, debido a que después se pueden importar todos para unificarlos en un proyecto final.



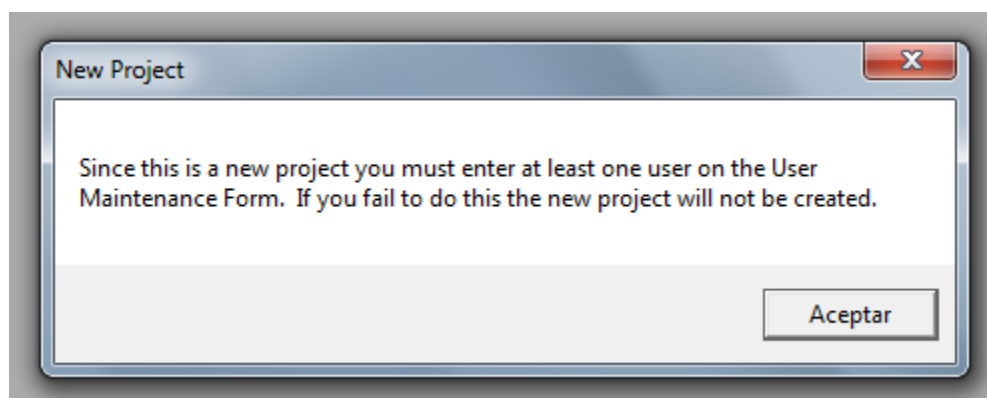
Se procede con la asignación de un nombre para el proyecto, realizar verificación que el tipo de archivo incluya la extensión .RCM




Seleccionar Abrir, inmediatamente aparece una alerta que indica que el proyecto no existe, y pregunta si desea o no crearlo, seleccionar la opción Si.

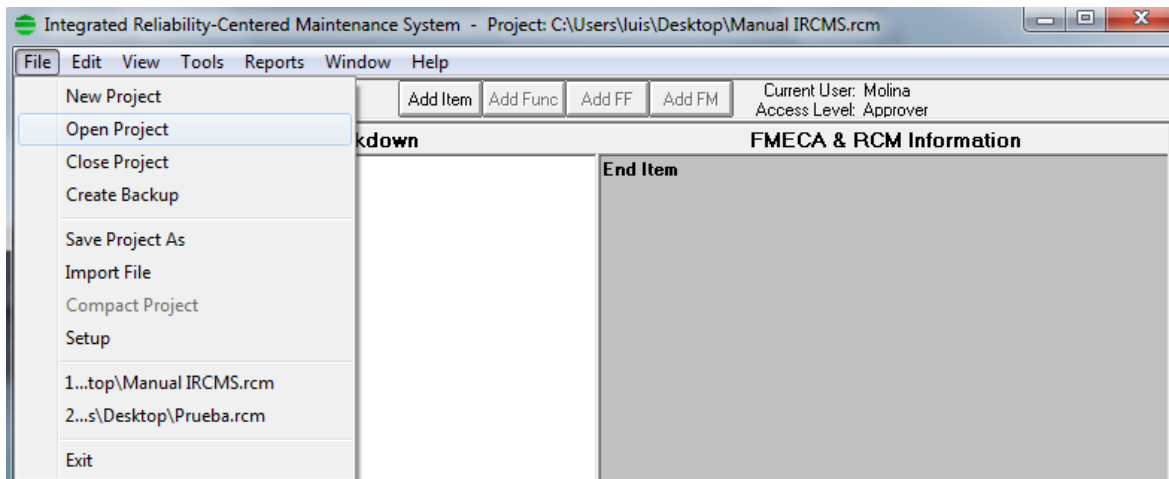


Aparece otra ventana, donde el software indica que se trata de un nuevo proyecto, por lo que se debe ingresar al menos un usuario en el formulario de mantenimiento (debe ser signoff), si no se hace, el nuevo proyecto no se crea, más adelante se explica la forma de ingresar y la forma para asignar los diferentes perfiles.



#### 4.4.3 Abrir proyectos existentes.

- Para abrir un proyecto existente seleccionar el icono, .
- También lo podemos hacer a través del menú principal en la opción seleccionar FILE, Open Project.



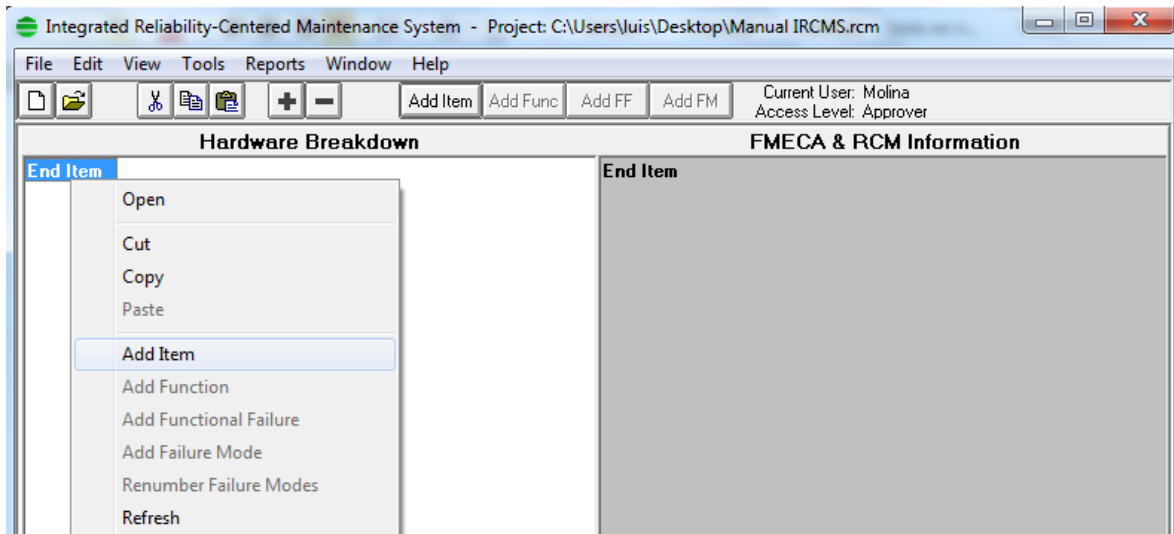
#### 4.4.4 Guardar.

No se requiere estar guardando el proyecto, ya que el programa lo hace automáticamente con el simple hecho de abrir ventanas o de escoger alguna opción de trabajo.

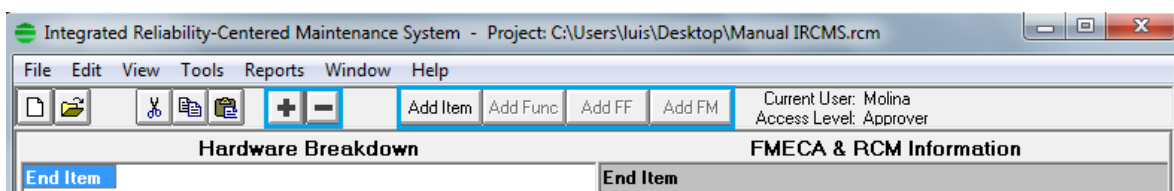
#### 4.4.5 Descripción de herramientas y espacios de trabajo.

- **Clicks del ratón (mouse):** con el botón derecho del ratón podemos visualizar la información del equipo, funciones, fallas funcionales y el modo de falla.

El ratón nos permite agregar equipos, funciones, fallas funcionales y modos de falla, colocándolo justo encima del nombre de interés y presionado el botón izquierdo, hay que tener en cuenta que estas opciones dependen de la ventana en la cual estemos trabajando (más adelante vamos a hablar de las ventanas de trabajo dentro del programa).

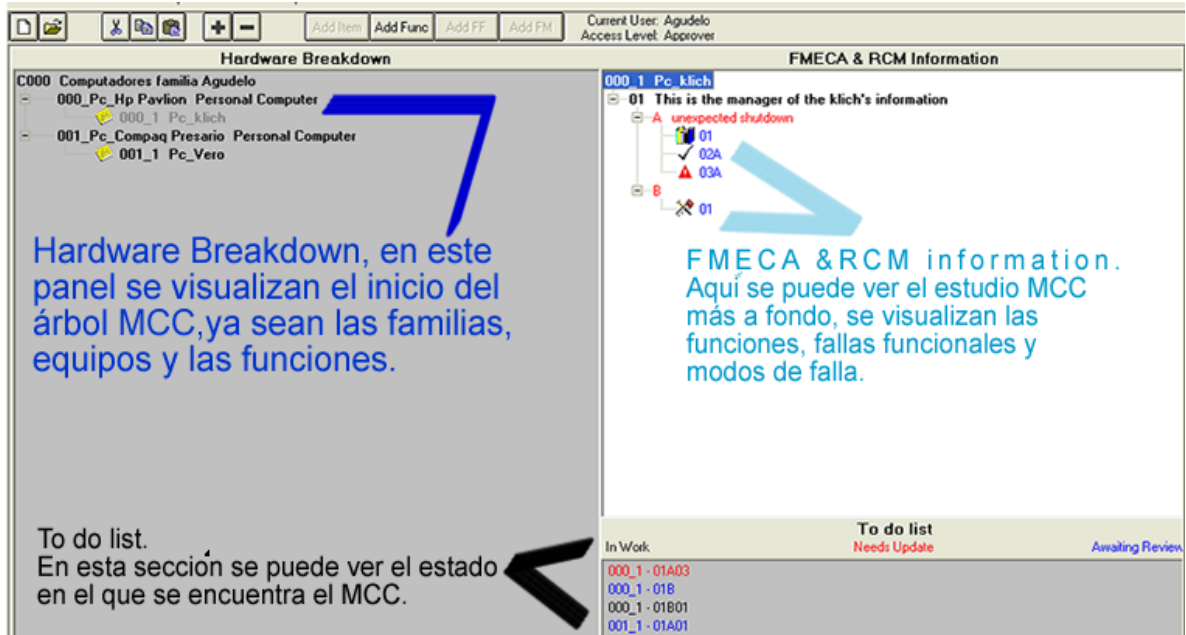


- **Barra de herramientas:** esta ventana de trabajo al igual que todas trae una aplicación de barra de herramientas que cumple con las mismas funciones que otros programas para cortar, pegar, copiar, abrir proyectos, guardar y anclar proyectos nuevos. Además de esto trae 2 botones para expandir o contraer los árboles del MCC, también tiene 4 botones más, para agregar elementos o equipos, funciones, fallas funcionales y modos de fallas.



#### 4.4.6 Ventana principal de trabajo.

El programa está conformado por 3 secciones principales de visualización



- **Hardware Breakdown:** área donde se encuentra el equipo inicial y desde donde se escogen las funciones para realizarles tratamientos en la ventana de FMECA.

El panel de Hardware Breakdown es donde se despliega o se muestra el árbol de escritura de hardware, para acceder a la información de los elementos. Puede seleccionarse con click derecho del mouse, con la opción open y con un doble click sobre el elemento deseado.

Un Hardware Breakdown (desglose o separación de hardware) es la división lógica de un equipo en elementos más pequeños que lo componen (despiece) para disminuir la complejidad del activo, la descomposición de un equipo va desde el nivel más alto hacia el más bajo (solo hasta el nivel necesario), y se

identifica como el fin de un equipo. La distribución de hardware se realiza hasta al menor nivel en que el análisis se realizó inicialmente.

El Hardware Breakdown está referido en el documento NA– 00– 25– 403, sección 3.2, para una mejor implementación.

- **FMECA Y RCM information:** es el árbol de las diferentes funciones de la ventana Hardware Breakdown, se puede acceder a la información de las diferentes fases.

En esta sección es donde se encuentra la información principal de los estudios de MCC, se puede acceder a la información escogiendo el bloque y presionando doble click.

En este panel las fases se diferencian por su color así:

- **Negro: Funciones**
- **Rojo: Falla funcional.**
- **Azul: Modo de falla.**

Los modos de falla pueden verse de diferentes formas, todo depende del estado en el que se encuentre (Aprobado, esperando revisión, entre otros), aunque esta ayuda se puede ver de una manera más clara en la ventana de TO DO LIST, también es posible bloquear los MF con el fin de que solo el usuario principal pueda editar estos campos, y llevar registros históricos.

El FMECA es un proceso cuyo fin es para identificar y documentar las funciones, fallas funcionales, modos de fallas y efectos de falla de un equipo. Esto es usado para determinar el alcance de una falla funcional en términos de seguridad, medio ambiente, operación o economía. Aquí se adelanta la clasificación de

seguridad de las fallas funcionales de acuerdo a lo establecido en los criterios de clasificación de severidad, y provee la información acerca de las tasas de fallo.

- **To Do List:** en esta sección se listan las partes incompletas del análisis MCC, esto con el fin de facilitar la búsqueda sin necesidad de consultar por todas las ramas del árbol de FMECA. Con un solo click a un elemento se puede acceder directamente para actualizar.

La clasificación de esta división se puede editar en el SETUP

#### 4.4.7 Iconos usados en el IRCMS 6.3.



**Aprobado:** El modo de falla ha sido aprobado (usuario signoff).



**Necesario Actualizar:** El MF necesita ser actualizado.



**Esperando Revisión:** El FM está siendo revisado.



**En proceso:** El análisis del proceso está en ejecución, por ende nos es posible marcar como aprobado o esperando revisión.

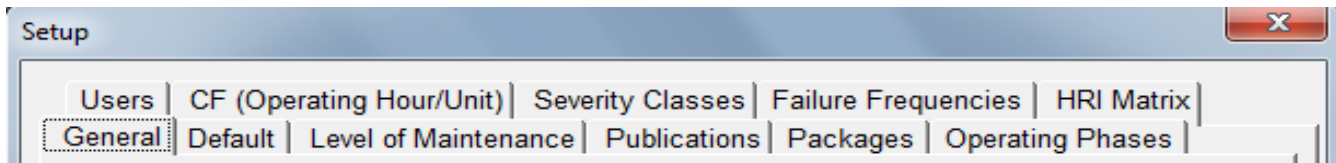


**Histórico:** El análisis está siendo mantenido como un registro histórico.

#### 4.4.8 Ventana de configuración, SETUP.

En esta opción que se encuentra en el MENU principal File→ Setup, podemos parametrizar todo el proyecto con el fin de estructurar la forma en la que se va a guardar y a procesar la información. Desde esta opción se puede imprimir.

La forma de parametrizar los diferentes campos es por pestañas de información, así:



## 4.5 CONFIGURACIÓN GENERAL

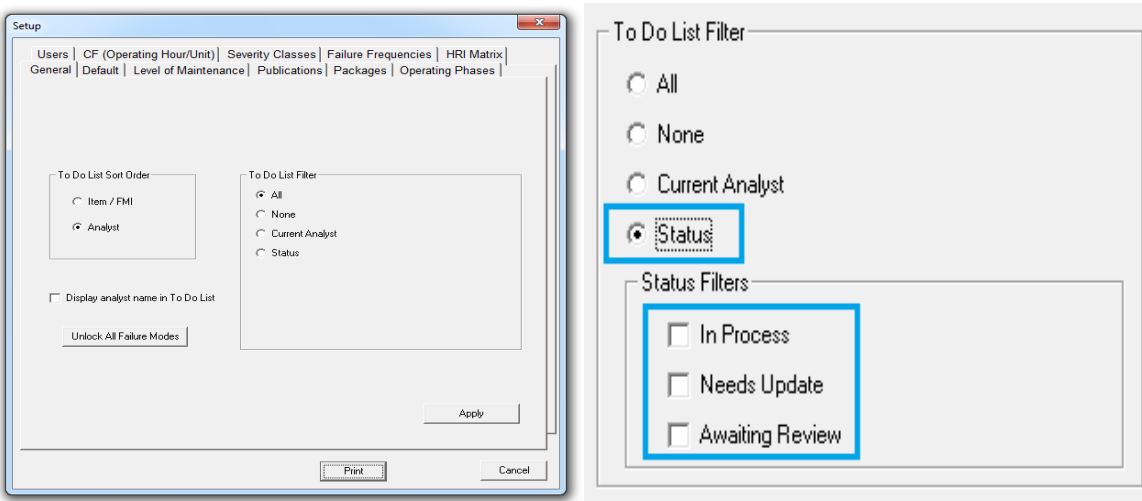
En esta opción se puede filtrar la información que aparece en la sección TO DO LIST, como aprobadas, en revisión, actuales entre otros, también se pueden desbloquear los MF esto solo si el usuario principal cuenta con los permisos.

En otras opciones podemos mostrar los análisis que han ingresado la información de las funciones o modos de falla que están activos en el panel TO DO LIST, así como podemos desbloquear los MF (usuario signoff).

Permite cambiar el modo de visualización del orden de clasificación de actividades TO DO LIST en dos casos:

- Ítem.
- Analista.

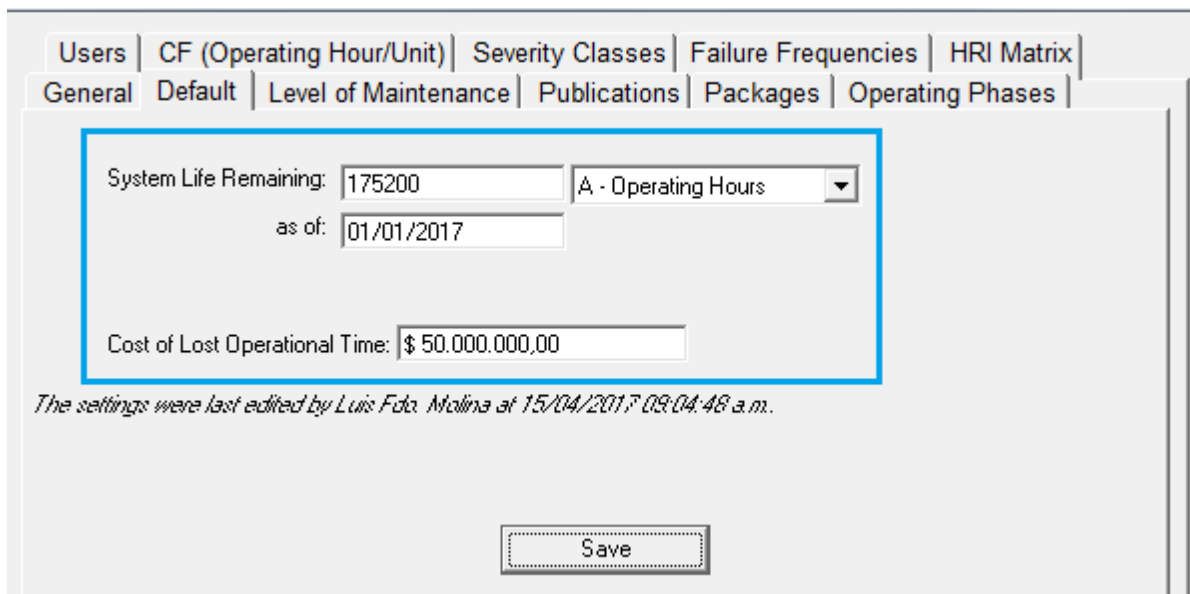
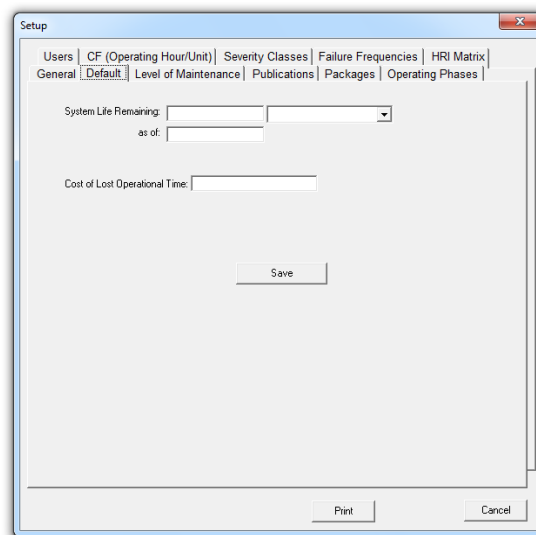
Filtrando la lista en los siguientes casos:



## 4.6 CONFIGURACIÓN POR DEFECTO, DEFAULT

La ventana de ajustes por defecto permite a los usuarios ingresar:

- El programa de vida restante en unidades operacionales con su fecha de inicio de servicio (as of), (estos valores son necesarios para el análisis de costo de las funciones, y se ingresan en unidades de valoración operacional).
- El costo de pérdida de tiempo operacional (unidades de moneda).



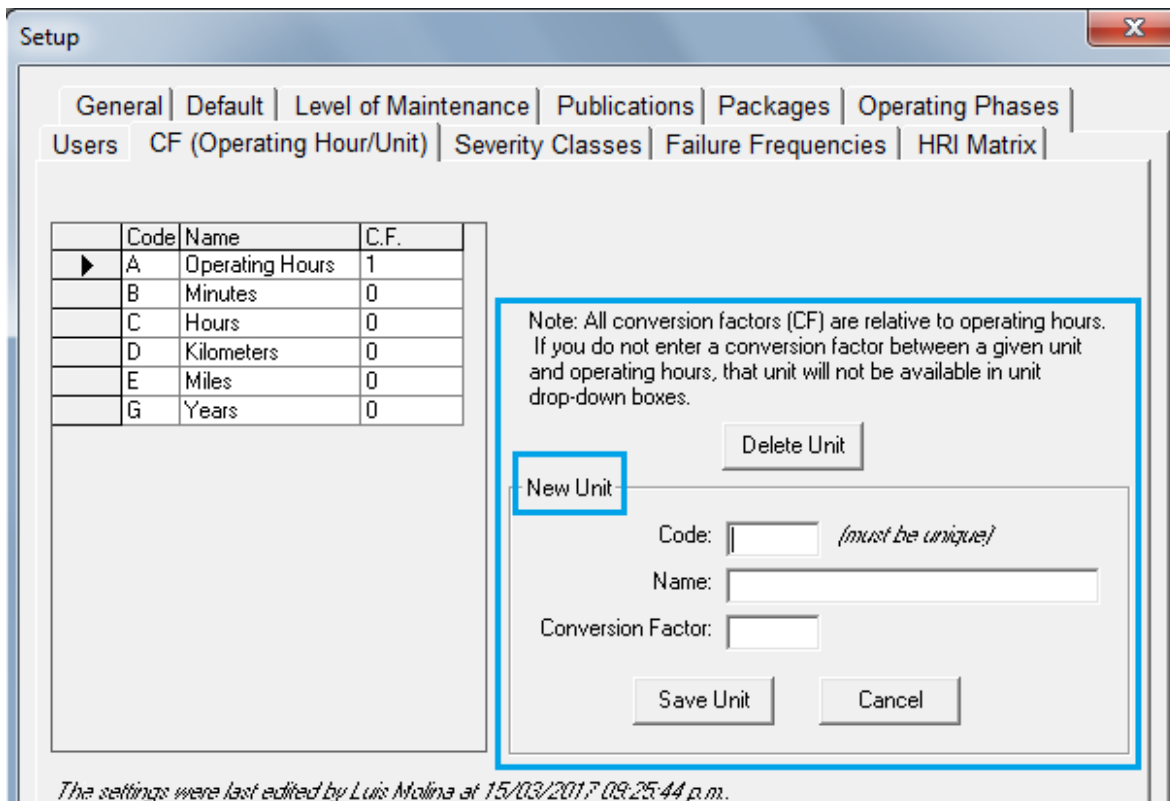


## 4.7 FACTORES DE CONVERSIÓN, CF

Los ajustes de CF permiten adicionar factores de conversión para unidades de medida, lo que permite el uso de diferentes unidades en el estudio del MCC.

Los factores de conversión son relacionados con la unidad por defecto que es horas operativas (se puede usar: días, línea, mes, etc.).

Adicionalmente se puede adicionar unidades de medida que no están incluidas en lista, de la siguiente manera, se elige agregar unidad (Add New Unit), esto despliega la opción de introducir un código, el nombre de la unidad de medida, y por último el factor de conversión. También se puede eliminar cualquier unidad (Delete Unit) que no se esté usando en el estudio del MCC.



The screenshot shows a software window titled "Setup" with a tabbed interface. The "CF (Operating Hour/Unit)" tab is selected. It contains a table of units and a "New Unit" dialog box.

	Code	Name	C.F.
▶	A	Operating Hours	1
	B	Minutes	0
	C	Hours	0
	D	Kilometers	0
	E	Miles	0
	G	Years	0

Note: All conversion factors (CF) are relative to operating hours. If you do not enter a conversion factor between a given unit and operating hours, that unit will not be available in unit drop-down boxes.

Buttons: Delete Unit, New Unit, Save Unit, Cancel

Fields: Code (must be unique), Name, Conversion Factor

The settings were last edited by Luis Molina at 15/03/2017 09:25:44 p.m.

## 4.8 CLASES DE GRAVEDAD, *SEVERITY CLASSES*

Es una categoría asignada a los modos de falla, basados en los impactos de sus efectos potenciales. (Menor, mayor, critica, catastrófica).

Se deriva de las reglas y pautas dadas en el documento NAVAIR 00– 25– 403 RCM Guidance Manual. Para asignar una nueva clase de gravedad solo se debe escoger la opción *Add New Severity Class* y se ingresa el nombre del nuevo componente en la celda *Severity Class Description*, seguidamente se introduce la prioridad de esta nueva clase en la celda *Priority*, esto debe hacerse en números romanos de 1 a 10, y se puede editar el impacto de la gravedad con los botones *Higher* o *Lower*, es decir se pueden subir o bajar los elementos en la clasificación de gravedad de acuerdo a las necesidades del estudio. Cuando se acaban de ingresar los factores de severidad, se elige *Save* o *Continue* para guardar o continuar respectivamente.

The screenshot shows a software window titled "Setup" with a tabbed interface. The "Severity Classes" tab is active. On the left, there is explanatory text: "A Severity Class indicates the severity of the consequences should a particular failure occur.", "Severity classes are defined by the user to categorize these various levels of severity.", and "The Severity Classes are required to create the Hazard Risk Matrix." On the right, there are two main sections. The first, "Select a Severity Class:", contains a list box with four items: "1 Catastrophic", "2 Critical", "3 Major", and "4 Minor". Above the list is a button labeled "<<< Add New Severity Class >>>". The second section, "Edit or Add Severity Class:", contains a text field for "Severity Class Description" with the word "Catastrophic" entered, and a "Priority" field with the Roman numeral "I" entered. To the right of the priority field are two buttons, "Higher" and "Lower". At the bottom of the dialog are three buttons: "Delete", "Save", and "Continue".

## 4.9 FRECUENCIA DE FALLAS; FAILURE FREQUENCIES

Indica cuan a menudo ocurren las fallas Las reglas se pueden ver en NAVAIR 00– 25– 403 RCM Guidance Manual.

Para agregar un nuevo ítem click en *Add New Failure Frequency*, se escribe el nombre en *Frequency Description*, ingresamos en la celda *One Occurrence Per* number and *Units* el tiempo en el cual ocurre una falla por la unidad *Units* necesaria, las unidades se parametrizan en la ventana de factor de conversión CF Una ocurrencia por (One Occurrence Per), es el punto de corte de la frecuencia de falla. Si una falla ocurre más veces del número entrado en la celda del campo anterior, entonces la falla será clasificada en la siguiente clasificación más alta de las frecuencias de falla. Finalmente guardamos.

Setup

General | Default | Level of Maintenance | Publications | Packages | Operating Phases | Users | CF (Operating Hour/Unit) | Severity Classes | Failure Frequencies | HRI Matrix

Select a Failure Frequency

<<< Add New Failure Frequency >>>

- Frequent
- Probable
- Occasional
- Remote
- Improbable

A Failure Frequency indicates how often a particular failure occurs.

Failure Frequencies are defined by the user to establish time intervals within which a failure may occur.

Failure frequency categories are required to create the Hazard Risk Matrix.

Edit or Add Failure Frequency:

Frequency Description: Frequent

One Occurrence Per: 10

Units: A - Operating Hours

Delete Save Continue

#### 4.10 HRI MATRIZ (ÍNDICE DE RIESGO DE PELIGRO)

El índice de riesgo de peligro está designado por dos ejes, **Clases de gravedad (severity classes) vs frecuencia de las fallas (Failure Frecuencias)**. En los cuales aparecerán las frecuencias de las fallas y las clasificaciones de gravedad que se estipularon anteriormente

La información para elaborar la matriz HRI normalmente proviene de las reglas básicas y supuestos del manual de la NavAir 00– 25– 403 MCC.

Esta ventana permite la personalización de la matriz en la cual se puede:

- Invertir los ejes (Invert Matrix),
- Escoger los colores de gravedad (Set Criticality Colors)
- Regresar al estado inicial (Reset Default Colors).

Al presionar el botón Set Criticality Colors, aparece una pequeña ventana con los colores definidos, para realizar el cambio es necesario dar doble clic sobre el color que se quiere cambiar y a continuación seleccionar el deseado, este procedimiento se realiza igual para cada uno y al final se guarda al dar clic en Save.

Finalmente para cambiar los colores de las celdas de la matriz HRI se da doble clic a la posición y se elige el color para la clasificación del estudio.

Setup

General | Default | Level of Maintenance | Publications | Packages | Operating Phases | Users | CF (Operating Hour/Unit) | Severity Classes | Failure Frequencies | **HRI Matrix**

HRI Matrix Color Scheme

	Frequent	Probable	Occasional	Remote	Improbable
Catastrophic	1A	1B	1C	1D	1E
Critical	2A	2B	2C	2D	2E
Major	3A	3B	3C	3D	3E
Minor	4A	4B	4C	4D	4E

Double click cell above to set criticality category and Risk Priority Number (RPN)

Reset Default Colors

Criticality Colors

High  Medium  Low  Acceptable  Set Criticality Colors

InvertMatrix

Save

Print

Cancel

Setup

General | Default | Level of Maintenance | Publications | Packages | Operating Phases | Users | CF (Operating Hour/Unit) | Severity Classes | Failure Frequencies | **HRI Matrix**

HRI Matrix Color Scheme

	Frequent	Probable	Occasional	Remote	Improbable
Catastrophic	1A	1B	1C	1D	1E
Critical	2A	2B	2C	2D	2E
Major	3A	3B	3C	3D	3E
Minor	4A	4B	4C	4D	4E

Double click cell above to set criticality category and Risk Priority Number (RPN)

Reset Default Colors

Criticality Colors

High  Medium  Low  Acceptable  Set Criticality Colors

InvertMatrix

Save

Set Criticality Colors

Criticality Categories

HIGH

MEDIUM

LOW

ACCEPTABLE

Save Settings

Color

Colores básicos:

<span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: red;"></span>	<span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: yellow;"></span>	<span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: green;"></span>	<span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: blue;"></span>	<span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: cyan;"></span>	<span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: magenta;"></span>
<span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: brown;"></span>	<span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: orange;"></span>	<span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: darkgreen;"></span>	<span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: darkblue;"></span>	<span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: darkcyan;"></span>	<span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: darkmagenta;"></span>
<span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: black;"></span>	<span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: grey;"></span>	<span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: darkgrey;"></span>	<span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: verydarkgrey;"></span>	<span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: white;"></span>	<span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: lightgrey;"></span>

Colores personalizados:

<span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: black;"></span>	<span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: black;"></span>	<span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: black;"></span>	<span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: black;"></span>	<span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: black;"></span>	<span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: black;"></span>
<span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: black;"></span>	<span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: black;"></span>	<span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: black;"></span>	<span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: black;"></span>	<span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: black;"></span>	<span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: black;"></span>

Definir colores personalizados >>

Aceptar Cancelar

To do list

In Work

End Item

Needs Update

#### 4.11 PUBLICACIONES, PUBLICATIONS

Las tareas de mantenimiento preventivo resultantes del análisis MCC, deberán ser documentadas en publicaciones de mantenimiento de algún tipo (Servicio IMC, Especificación del concepto integrado de mantenimiento). Durante el empaquetado de las tareas de mantenimiento, estas pueden ser asignadas a una de las publicaciones listadas.

Para agregar una publicación en esta opción del **setup**:

- Clic en agregar nueva publicación– Add New Publication en la parte superior,
- Ingresar el nombre de la publicación– Publication Name
- Escribir una breve descripción de la publicación– Publication Description
- Guardar – Save.

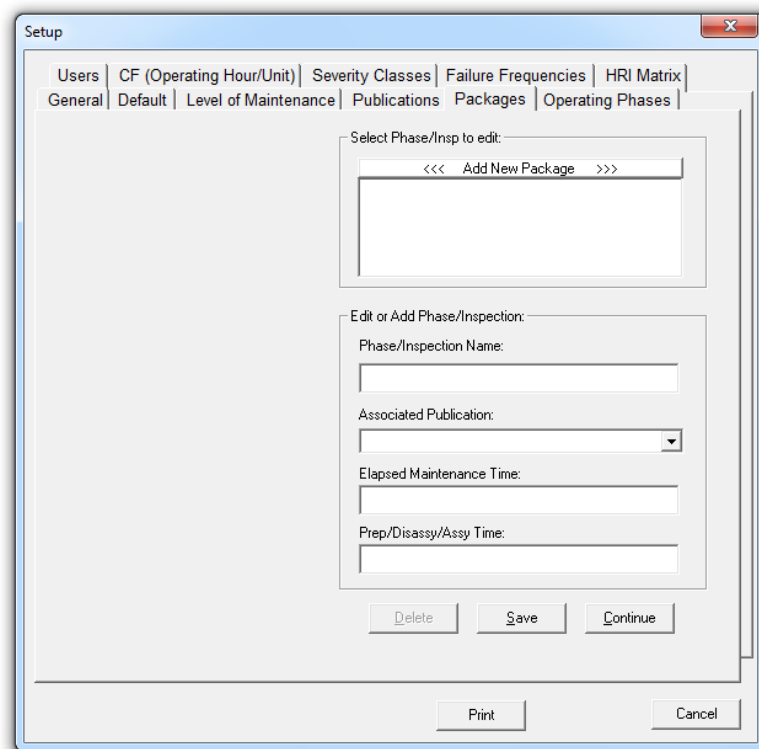
The screenshot shows a software window titled "Setup" with a tabbed interface. The "Publications" tab is selected. The window contains the following elements:

- Tab bar: Users | CF (Operating Hour/Unit) | Severity Classes | Failure Frequencies | HRI Matrix | General | Default | Level of Maintenance | Publications | Packages | Operating Phases
- Section "Select a Publication to edit:" containing a list box with the text "<<< Add New Publication >>>".
- Section "Edit or Add Publication:" containing two text input fields:
  - Publication Name:
  - Publication Description:
- Buttons at the bottom: Delete, Save, Continue, Print, and Cancel.

## 4.12 PAQUETES, PACKAGES

Cuando las tareas de mantenimiento preventivo se empaquetan conjuntamente en grupos ejecutables de tareas, estos grupos son típicamente llamados como Fase A, Fase B, etcétera. Las cuales se requieren documentar en publicaciones de algún tipo, como MRC, PMIC, entre otros.

Esta ventana le proporciona al usuario la posibilidad de agregar o editar una lista de grupos de paquetes y agregar una publicación que se asocia a ese grupo.



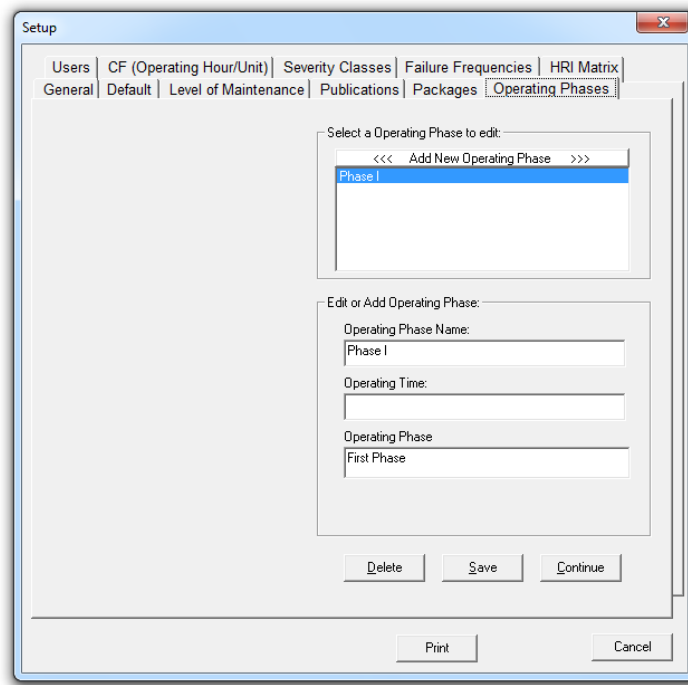
Ajuste de las fases de operación, Operating Phases Setup.

Para agregar una fase de operación:

- Seleccionar *Add New Operating Phase*, con esto se borrarán todos los campos en las celdas de la ventana.

- En la celda Operating Phase Name, ingresar el nombre de la fase que se está registrando.
- Ingresar el tiempo de operación y se designar la fase de operación.
- Guardar lo que se ha ingresado.

Para editar una fase de operación existente, se debe seleccionar la fase dando clic sobre ella y luego se procede a cambiar los datos que se requieran.



#### 4.13 NIVEL DE MANTENIMIENTO, *LEVEL OF MAINTENANCE*

Permite la definición de los mantenimientos requeridos para el mantenimiento preventivo, también permite ingresar costos por defecto de un nivel de mantenimiento en particular.

Para agregar un nivel de mantenimiento:

- Seleccionar Add New Level of Maintenance.



- Ingresar el nombre del nivel de mantenimiento, el costo del nivel de mantenimiento (en unidades de moneda) y la descripción.
- Guardar.

Para editar un nivel de mantenimiento:

- Seleccionar uno de los elementos listados.
- En la sección Select a Level of Maintenance to Edit, cambiar los campos que se quieren editar.

#### 4.14 USUARIOS USER

Esta función aparece al inicio de la creación de un nuevo proyecto pero también podrá ser utilizada en cualquier momento que se requiera, para el inicio de todo proyecto es necesario asociar un usuario, de lo contrario no se finaliza la creación del mismo.

El nombre de usuario y la contraseña son los datos claves para el acceso a cualquier proyecto, estos son susceptibles de cambio o modificación, por lo que hay que tener especial cuidado en la manipulación de mayúsculas y minúsculas. Los usuarios inactivos no aparecerán en las diferentes listas desplegable del software (por ejemplo para aprobar estudios etc.).

Para creación de nuevos usuarios se realiza el diligenciamiento del siguiente formulario:

First Name	Nombre de Pila (opcional)
Last Name	Apellidos
User Name	Nombre de usuario
Password	Contraseña
Password Verification	Verificación de contraseña
Access Level	Nivel de acceso
Active User	Activación de usuario
Guardar y continuar	

IRCMS permite asignar usuarios con diferentes niveles o perfil de acceso a la base de datos, esto con el fin de que algunos tengan la potestad de solo consultar, consultar, editar y revisar o consultar, editar y administrar proyectos.

Los niveles de acceso para cada usuario están dados por las siguientes tres opciones:

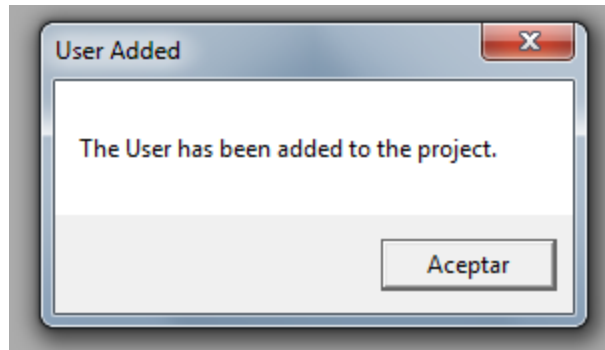
- View Only: permite solo acceder a los datos al usuario. No permite realizar ningún tipo de cambio en la base de datos.
- Analyst: permite entrar o editar datos, sin embargo un analista no puede editar los elementos de análisis con– Status – posición aprobado.
- Signoff: tiene la autorización para aprobar los análisis nuevos o en revisión. Puede editar análisis aprobados y desempeñar funciones de la administración del proyecto como agregar nuevos usuarios.

El primer usuario debe tener la característica de Signoff, como papel de administrador del proyecto.

The screenshot shows a 'Setup' window with a 'Users' tab selected. The window contains several sections for user management:

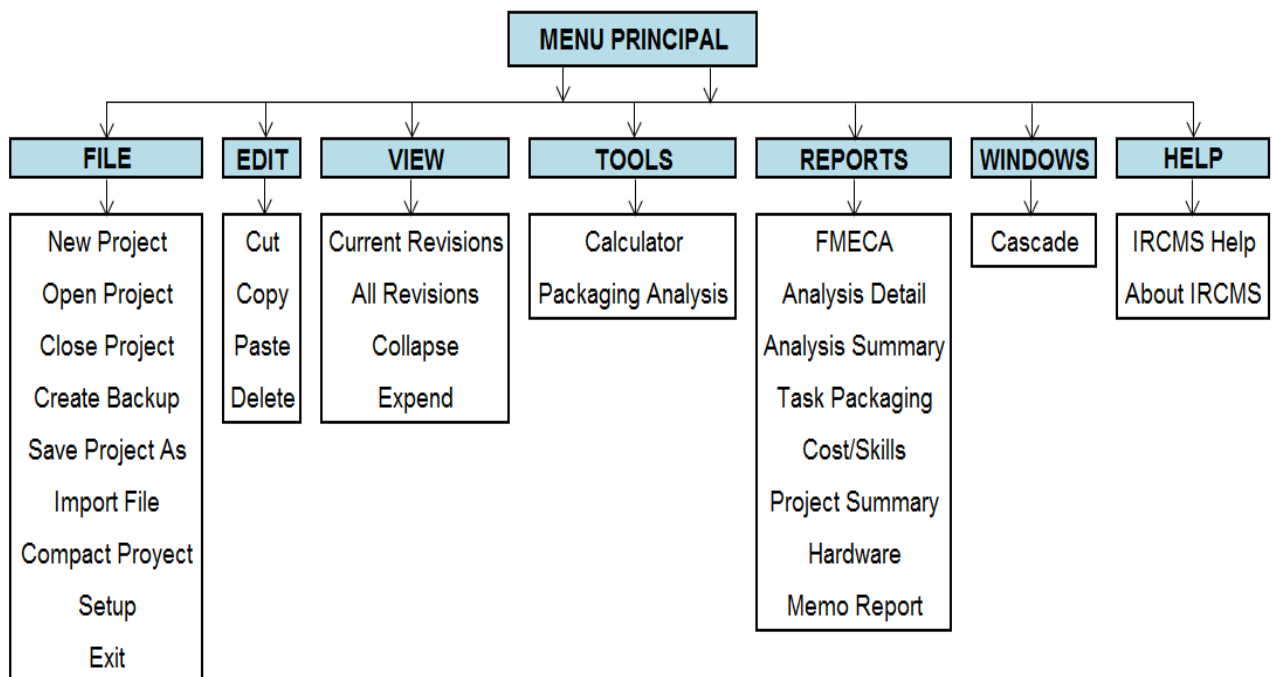
- General Tab:** Includes tabs for General, Default, Level of Maintenance, Publications, Packages, Operating Phases, Users, CF (Operating Hour/Unit), Severity Classes, Failure Frequencies, and HRI Matrix.
- Select a User to Edit:** A section with a button '<<< Add New User >>>' and a table with columns 'Last Name, First Name' and 'User ID'.
- Access Levels:** A box containing the following definitions:
  - View Only = Records cannot be edited
  - Analyst = View, Edit and Review Rights
  - Signoff = View, Edit and Admin Rights
- Edit or Add User:** A section with input fields for First Name (Luis), Last Name (Molina), User Name (lfmolina), Password, and Verify Password. The 'Access Level' dropdown is set to 'SignOff', and the 'Active' checkbox is checked.
- Buttons:** 'Help', 'Delete', 'Save', 'Continue', 'Print', and 'Cancel' are located at the bottom of the window.

Dar click en Save, el programa notifica que un nuevo usuario fue creado, dar aceptar y continuar, con esta parte



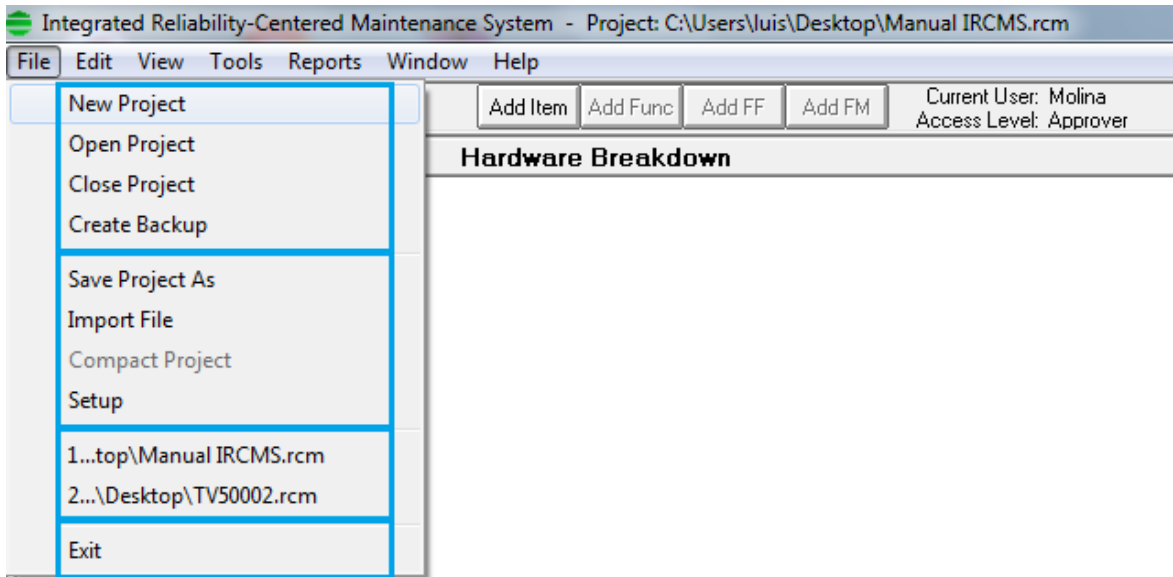
#### 4.15 MENU PRINCIPAL


El menú principal proporciona acceso a una variedad de opciones de proyecto, en el diagrama de flujo anexo se despliegan las herramientas que los componen y paso siguiente se profundiza en la utilización de cada una de estas.



#### 4.15.1 File.

Herramienta utilizada para las funciones de direccionamiento del proyecto.

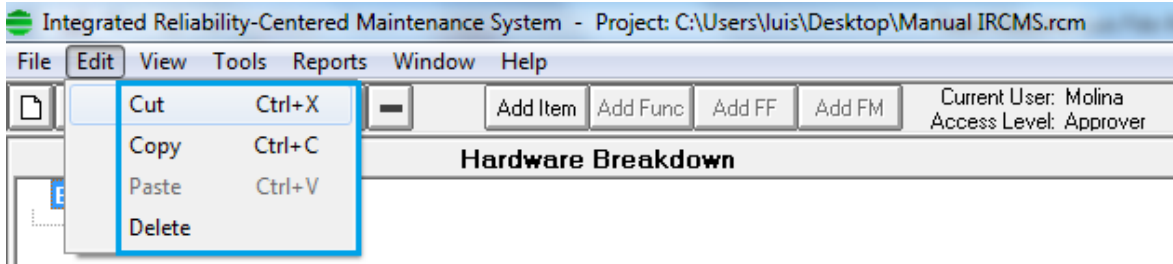


- New Project: permite la creación de nuevos proyectos.
- Open Project: se utiliza para abrir un proyecto existente.
- Close Project: para cerrar un proyecto basta con cerrar desde la  de la interfaz de Windows; otra forma es en el menú File→Exit o File→Close Project
- Create Backup: File→Create a Backup: esta opción crea un respaldo del proyecto que se tiene abierto.
- Save Project As: File→ Save Project As: hacer copias del proyecto, o guardar. No olvidar la ruta en donde se guarda el proyecto, para no tener la información extraviada.
- Import File: File→ Import File: permite importar información de ítems ya creados en otros proyectos al proyecto en el que se trabaja actualmente.

- Compact Project: es una herramienta cuya función es limpiar espacio de disco que no está siendo usado, o cuando una base de datos es muy extensa y procesa muy lento, para comprimir los datos.
- Setup Windows: explicación dada anteriormente.
- Recently Opened Projects: se puede visualizar los proyectos que se han abierto recientemente.
- Exit: salir del programa.

#### 4.15.2 Edit.

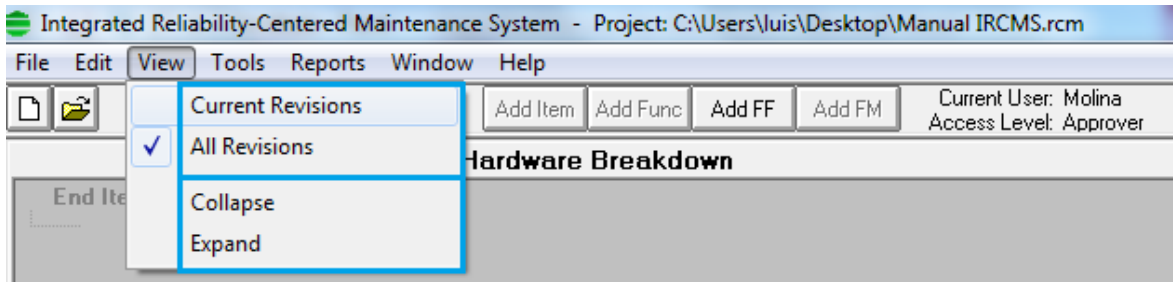
Herramienta utilizada para la manipulación de datos.



En el menú Edit está el paquete básico para la edición de datos, como Cut– cortar (saber qué es lo que se quiere para no cortar las ramas completas.), Copy– copiar, Paste– Pegar, adicional a estas opciones, esta Delete que sirve para borrar el elemento que se desee en la ventana principal.

#### 4.15.3 View.

Herramienta para el control visualizado de datos en la aplicación.

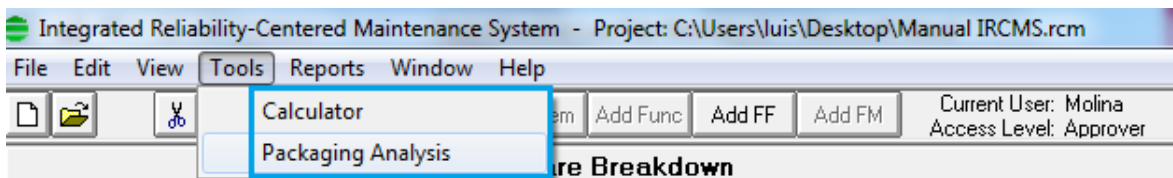


En este menú se puede elegir entre 2 opciones de visualización de la ventana FMECA y RCM information, una Current Revision para ver solo lo que está en proceso, los estudios pasados quedan oculto, y All Revision, muestra todas las opciones.

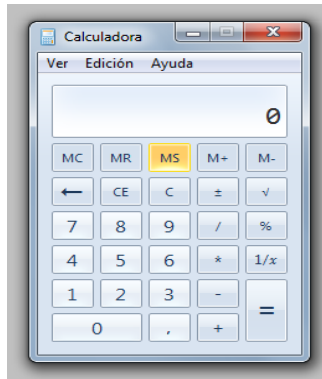
Así mismo hay 2 opciones con las cuales estamos familiarizados, que son Contraer Collapse y expandir Expand, las cuales son para la visualización de los árboles.

#### 4.15.4 Tools.

Herramienta para el acceso a la calculadora y al análisis del empaquetado.



- Calculator: el manejo de la calculadora es básico para este programa, sirve para hacer cálculos sencillos, por lo cual no es de interés profundizar en el tema.



- *Packaging Analysis*, Análisis del Empaquetado: La ventana que se abre con esta opción es donde un usuario puede organizar las tareas específicas de mantenimiento preventivo en grupos de tareas ejecutables. La ventana lista información acerca de tareas individuales y proporciona herramientas para filtrar y clasificar los datos que asisten a un analista en el desarrollo de paquetes de mantenimiento.

Adicionalmente esta ventana tiene 2 submenús:

- File Menu: sirve para importar, exportar datos desde y hacia Excel.
- View Menu: tiene la habilidad de especificar campos con los cuales ayudan a filtrar y clasificar los datos empaquetados.

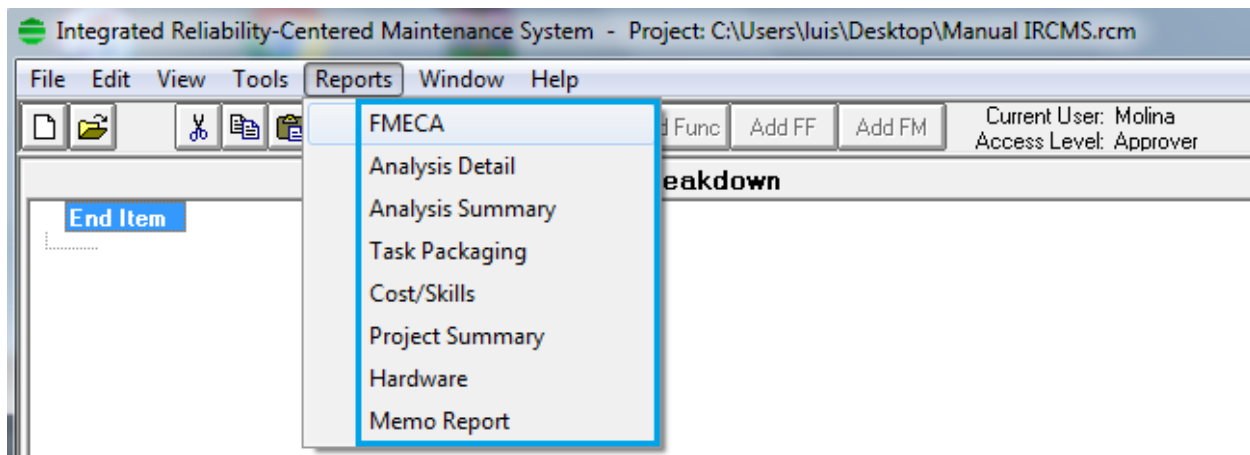
Información desplegada en la ventana de análisis de empaquetado:

- ID: identificador del equipo.
- FMI: indicador de modo de falla. Identifica el análisis del modo de falla.
- Task Code: código de identificación único de la tarea.
- Task description: descripción de la tarea.
- Preliminary task interval – Analyzed repeating task interval
- Packaged task interval: intervalo de tareas empaquetadas
- First inspection interval: análisis de la primera ocurrencia de la tarea.
- Package description: descripción del paquete que contiene la tarea.



- Task Status: posición actual de la tarea.
- Reference publications: publicaciones de referencia
- Card / WP
- Ítem
- Man– hours
- Zone
- Cost/ Op
- Skill
- Task Type
- LOM– Level of maintenance.
- Packaged LOM– Packaged Level of Maintenance
- Safety
- Evident

4.15.5 Reports: reportes contruidos al ingresar los datos.



Herramienta que permite visualizar los reportes arrojados por el programa, según el tipo de sistema y la información ingresada previamente.

Al dar click en la opción REPORTS, en la barra de herramientas, se despliega un menú, con las siguientes alternativas: FMECA, Analysis Detail, Analysis Summary, Task Packaging, Cost/Skills, Project Summary, Hardware y Memo report.

#### 4.15.6 FMECA.

El formato de este reporte está basado en el proporcionado en el MIL– STD– 1629. Se despliega una interfaz de control para escoger los elementos de hardware requeridos y los modos de fallo de la ventana principal FMECA.

Al dar click en la alternativa FMECA, se abre una ventana en la cual se muestran los sistemas previamente ingresados. Al seleccionar la maquina se activan las opciones de la parte derecha de la pantalla (Selection Criteria y Print Option), el usuario tiene la oportunidad de escoger entre las siguientes opciones: imprimir, visualizar y/o exportar el reporte de la(s) maquina(s) seleccionada(s), finalizando esta operación dando click en OK. Si se selecciona la opción View on screen, se mostrará una hoja con el reporte de la(s) maquina(s) en un formato tipo tabla. Si la opción es Export to file/disk, se abrirá una ventana con opciones para guardar el archivo en el formato y destino que se desee. Si la opción es Send to print, el usuario podrá visualizar una ventana con diferentes opciones para imprimir.

**FMECA Report Setup**

**HARDWARE ITEMS**

**UIC 54-190-TG 1/9. Cambiavias**

- Balasto
- Placas de Rodillo
- Junta Aislante
- Sistema de Sujeciones
- + Cerrojo de Una
- Durmientes (Traviesas de Madera)
- Aguja Recta
- Aguja Curva
- Contra Aguja Curva
- Corazon
- + Contracarril
- Contra Aguja Recta
- UIC 54 Riel

**FAILURE MODES**

**Selection Criteria**

☒ Print all Failure Modes for Selected Item(s)

Print All Options

☒ All at Item Level

☐ At Item level and below

☐ Print Selected Failure Modes for Selected Item

☐ Include Historical Records

**Print Options**

☒ View on Screen

☐ Send to Printer

☐ Export to File/Disk

**Cancel**

**OK**

La herramienta FMECA entrega un reporte con la siguiente configuracion.

FMECA Report

Print Date: 15/04/2017

IRCMS

ITEM IDENT NO.	ITEM NOMEN	FUNCTION		FUNCTIONAL FAILURE		FAILURE MODE		MISSION PHASE	FAILURE EFFECTS			FAILURE DETECTION METHOD	SEV CLASS	MTBF/UNITS
		NO.	Descripción	CTR	Descripción	NO.	Descripción		LOCAL EFFECTS	NEXT HIGHER EFFECTS	END EFFECTS			
UIC 54-190-TG 1/9.	Cambiavias	01	Permitir el cambio de un vehículo ferroviario de una vía a otra a velocidad max de 40 km/h de manera segura y confiable.	A	El cambiavias no permite el cambio de vía	01	Ruptura intransitable de aguja curva	Phase I	Cambiavias no acciona	Descarrilamiento	Accidente ferroviario que probablemente puede ocasionar afectación a la seguridad de las personas y equipos	Sistema de señalización e inspección visual	1	12.960.00A
UIC 54-190-TG 1/9.	Cambiavias	01	Permitir el cambio de un vehículo ferroviario de una vía a otra a velocidad max de 40 km/h de manera segura y confiable.	A	El cambiavias no permite el cambio de vía	02	Ruptura intransitable de contraaguja curva	Phase I	Cambiavias no acciona	Descarrilamiento	Accidente ferroviario que probablemente puede ocasionar afectación a la seguridad de las personas y equipos	Sistema de señalización e inspección visual	1	12.960.00A
UIC 54-190-TG 1/9.	Cambiavias	01	Permitir el cambio de un vehículo ferroviario de una vía a otra a velocidad max de 40 km/h de manera segura y confiable.	A	El cambiavias no permite el cambio de vía	03	Obstaculo bloquea movimiento de la aguja	Phase I	Cambiavias no acciona (no da comprobación)	No se establece el itinerario (no hay señal permisiva para autorizar el movimiento de vehículos)	Atrasos en el servicio comercial	Inspección visual	2	12.960.00A
UIC 54-190-TG 1/9.	Cambiavias	01	Permitir el cambio de un vehículo ferroviario de una vía a otra a velocidad max de 40 km/h de manera segura y confiable.	A	El cambiavias no permite el cambio de vía	04	Ruptura intransitable de corazon	Phase I	Movimiento brusco al paso del vehículo	Descarrilamiento	Accidente ferroviario que puede ocasionar daños a la seguridad de las personas y equipos	Radiografías, e inspección visual	1	38.880.00A
UIC 54-190-TG 1/9.	Cambiavias	01	Permitir el cambio de un vehículo ferroviario de una vía a otra a velocidad max de 40 km/h de manera segura y confiable.	A	El cambiavias no permite el cambio de vía	05	Talonomiento del Cambiavias	Phase I	Deformación del cambiavias	El vehículo se ubica en una vía diferente a la destinada según itinerario	Atrasos en el servicio comercial	Alarma de indicación Cambiavias talonado en el Puesto Central de Control PCC	2	68.400.00A

Page 1 of 8

#### 4.15.7 *Analysis detail*, análisis detallado.

Es un reporte multipagina, en el cual aparecen todos los modos de falla y la información que se escribe en los memos de un particular FM.

Al dar click en la alternativa Analysis Retail, se abre una ventana en la cual se muestran las sistemas previamente ingresados. Al dar click en la máquina se activan las opciones de la parte derecha de la pantalla (Selection Criteria y Print Option), el usuario tiene la oportunidad de escoger entre las siguientes opciones: imprimir, visualizar y/o exportar el reporte de la(s) máquina(s) seleccionada(s), finalizando esta operación dando click en OK. El usuario encontrará la misma ventana que fue mostrada en la alternativa FMECA. Pero el reporte es un informe detallado de la maquina seleccionada.

La herramienta Analysis Detail proporciona el siguiente reporte:

### RCM Analysis Detail Report

**IRCMS**

Print Date: 16/04/2017

End Item: UIC 54-190-TG 1/9 Camblavias

Item ID: UIC 54-190-TG 1/9.  
Camblavias

Failure Mode: 01A01

Ruptura intransitable de aguja curva

#### Task Information

##### Summary Recommendation:

Task Sel	Task Code	Type	Description	Preliminary Interval	Packaged Interval	Cost/Op Time	EMT/Op Time
->	0001	SL	Realizar soldadura de recargue o esmerilado manual	8,760,00/A	8,760,00/A	\$ 32,31/A	0,01/ A
->	0002	OC	Inspeccion visual periodica, segun necesidad aplica liquidos penetrantes o inspeccion con ultrasonido	168,00/A	168,00/A	\$ 755,84/A	1,01/ A
		HT		/	/	/A	/A
		FF		/	/	/A	/A
		OA				/A	/A
		NO PM	No Preventive Maintenance			/A	/A

#### 4.15.8 Summary, resumen.

Presenta un informe limitado, solo relacionado con el modo de fallo. Este reporte contiene información abreviada sobre FMECA. Incluye el resumen de recomendaciones y las tareas que fueron seleccionadas.

Al dar click en la alternativa *Analysis Summary*, se abre una ventana en la cual se muestran las máquinas previamente ingresadas. Al dar click en la máquina se activan las opciones de la parte derecha de la pantalla (Selection Criteria y Print Option), el

usuario tiene la oportunidad de escoger entre las siguientes opciones: imprimir, visualizar y/o exportar el reporte de la(s) maquina(s) seleccionada(s), finalizando esta operación dando click en OK. El usuario encontrará la misma ventana que fue mostrada en la alternativa FMECA. Pero el reporte es un informe resumido del modo de falla y las operaciones realizadas para detectar el fallo, se muestra el estado del proceso de mantenimiento y las recomendaciones para el mantenimiento.

La herramienta Summary proporciona el siguiente reporte:

### RCM Analysis Summary Report

**IRCMS**

Print Date: 16/04/2017

**End Item:** UIC 54-190-TG 1/9.Camblavías

**Item ID:** UIC 54-190-TG 1/9.

Camblavías

**Failure Mode:** 01A02

Ruptura intransitable de contraaguja curva

**MTBF:** 12.960,00 Operating Hours **Safety:** S **Hidden/Evident:** E **Severity:** I

#### End Effects:

Accidente ferroviario que probablemente puede ocasionar afectacion a la seguridad de las personas y equipos

#### Failure Detection Method:

Sistema de señalización e Inspección visual

#### Analysis Status:

**Analyst:** Luis Fdo. Molina

#### Approval Date:

**Approved By:**

#### Summary Recommendation:

Task Seq	Task Code	Type	Description	Preliminary Interval	Package Interval	Cost/Op Time	EMT/Op Time
->	003	SL	Esmerillado manual o reprellado automatico con vehículo Aux RGH-10c	8.760,00/A	8.760,00/A	/A	0,00/ A
->	0002	OC	Inspeccion con equipos de ultrasonido para detectar defectos en el material	168,00/A	168,00/A	/A	1,01/ A
->	006	HT	Inspeccion con medidor de alturas para realizar seguimiento al desgaste del riel, maximo permitido por normas de seguridad ferroviaria:	8.760,00/A	8.760,00/A	/A	/A
		FF		/	/	/A	/A
		OA				/A	/A
		NO PM	No Preventive Maintenance			/A	/A

#### 4.15.9 Task packaging.

Proporciona una interfaz, para controlar que está incluido en el reporte y como ese encuentra organizado.

**Preventive Maintenance Task Packaging Report**

**Filters**

Filter:	Set to:
Hardware Item	All Selected
FMI	All Selected
Package Description	All Selected
Maintenance Level	All Selected
Task Interval Range Units	All Selected
Task Interval Range	All Selected
Reference Publication	All Selected

**Sorting**

Sort By:

Then By:

**Print Options**

☒ View on Screen

☐ Send to Printer

☐ Export to File/Disk

**Summary** | **Item** | **FMI**

Package Description | Maintenance Level | Task Interval Range

Reference Publication

**Cancel** **OK**

Los usuarios pueden elegir que datos serán incluidos en el informe usando los filtros que han sido previstos. Cada pestaña de esta opción permite limitar más las salidas de los diferentes campos y clasificar de acuerdo a sus necesidades.

Además nos proporciona un cuadro con las tareas o paquetes de tareas de mantenimiento que se deben realizar sobre el sistema.

## Task Package Report

Print Date: 16/04/2017

**IRCMS**

Item Code	FMI	Task Codes	SC	Task Description	Preliminary			Packaged			Task Status	Package Description	Reference Publication	Card/WP Number	Item/Para Number
					1st Insp/Units	Intvl/Units	LOM	1st Insp/Units	Intvl/Units	LOM					
UIC 54-190-T G 19.	01.A01	0001		Realizar soldadura de recargue o esmerilado manual	N/A	\$760/A	1	N/A	\$760/A	1					
UIC 54-190-T G 19.	01.A01	0002		Inspeccion visual periodica, segun necesidad aplica liquidos penetrantes o inspeccion con ultrasonido	16\$/A	16\$/A	1	16\$/A	16\$/A	2					
UIC 54-190-T G 19.	01.A02	0002		Inspeccion con equipos de ultrasonido para detectar defectos en el material	16\$/A	16\$/A	2	16\$/A	16\$/A	2					
UIC 54-190-T G 19.	01.A02	0003		Esmerilado manual o repelido automatico con vehiculo Aux. R.O.H-100	N/A	\$760/A	3	N/A	\$760/A	3					
UIC 54-190-T G 19.	01.A02	0006		Inspeccion con medidor de alturas para realizar seguimiento al desgaste del riel, maximo permitido por normas de seguridad ferroviaria: 12 mm si se alcanza este valor de desgaste obligatorio programar el cambio del componente	N/A	\$760/A	2	N/A	\$760/A	2					
UIC 54-190-T G 19.	05.B01	0025		Renovar la grasa de lubricacion del cerrojo de una (realizar retiro grasa usada y lubricar con grasa nueva)	N/A	6480/A	1	N/A	6480/A	1					

### 4.15.10 Cost/skills.

Proporciona un resumen de los niveles de experiencia y los costos requeridos para desarrollar un mantenimiento preventivo determinado por un análisis MCC. Este reporte suministra una interfaz para controlar que es lo que se va a incluir y cómo se organiza.

Como en casos anteriores se puede filtrar y limitar la información, y una pestaña de resumen da una visión general de los filtros que se han establecido.



**Preventive Maintenance Task Cost/Skills Report**

Filters

Filter:	Set to:
Hardware Item	All Selected
Zone	All Selected
Skill Type	All Selected
Maintenance Level	All Selected
Task Interval Range Units	All Selected
Task Interval Range	All Selected

Summary

Item	Zone
Skill Type	Maintenance Level
Task Interval Range	

Sorting

Sort By: Item

Then By: FMI

Print Options

☒ View on Screen

☐ Send to Printer

☐ Export to File/Disk

**Cancel** **OK**

Además nos arroja un reporte en el cual se pueden ver las diferentes actividades de mantenimiento y sus respectivos costos, a continuación se presenta un ejemplo:

## Cost Skills Report

Print Date: 16/04/2017

**IRCMS**

Item Code	FMI	Task Code	Task Description	Preliminary			Packaged			Task Status	Zone	Skill Type	OpTime	ManHours	Material Cost	Task Cost	Repair Cost
				Int Insp/Units	Intvl/Units	LOM	Int Insp/Units	Intvl/Units	LOM								
UTC 54-190-TG 19.	01A01	0001	Realizar soldadura de recargue o emendado manual	N/A	\$760/A	1	N/A	\$760/A	1				\$ 32,31	6,00	\$ 150.000,00	\$ 283.000,00	N/A
		0002	Inspeccion visual periodica, segun necesidad aplica liquidos penetrantes o inspeccion con ultrasonido	168/A	168/A	1	168/A	168/A	2				\$ 755,84	2,00	\$ 100.000,00	\$ 111.000,00	\$ 15.000.000,00
		01A02	Inspeccion con equipos de ultrasonido para detectar defectos en el material	168/A	168/A	2	168/A	168/A	2					2,00	\$ 100.000,00	\$ 121.000,00	\$ 8.000.000,00
	05B01	0003	Emendado manual o repelido automatico con vehiculo Aux RGH-100	N/A	\$760/A	3	N/A	\$760/A	3					6,00	\$ 2.000.000,00	\$ 11.300,00	N/A
		0006	Inspeccion con medidor de alturas para realizar seguimiento al desgaste del rol, maximo permitido por normas de seguridad ferroviaria: 12 mm si se alcanza este valor de desgaste obligatorio o reemplazar el cambio del componente.	N/A	\$760/A	2	N/A	\$760/A	2					2,00	\$ 150.000,00	\$ 171.000,00	\$ 20.000.000,00
		0025	Renovar la grasa de lubricacion del cerrojo de una (realizar retiro grasa usada y lubricar con grasa nueva)	N/A	6480/A	1	N/A	6480/A	1					2,00	\$ 100.000,00	\$ 259.000,00	N/A

#### 4.15.11 *Project summary*, resumen del proyecto .

Entrega un resumen de los estados actuales de los modos de falla.

#### **UIC 54-190-TG 1/9. Cambiavias Project Summary Report**

***IRCMS***

Print Date: 16/04/2017

<u>Code</u>	<u>Name</u>	<u>In</u> <u>Process</u>	<u>Needs</u> <u>Update</u>	<u>Awaiting</u> <u>Review</u>	<u>Approved</u>	<u>Historical</u>	<u>Total</u>
UIC 54-190-TG 1/9.	Cambiavias	15					15
<b>Total</b>		15					15
<b>In Work</b>	<b>%</b>	<b>Analyzed</b>	<b>%</b>	<b>Historical</b>	<b>%</b>		

#### 4.15.12 Hardware.

Muestra las sistemas activos o sobre las cuales se cuenta con la información del análisis FMECA

Ejemplo:

#### **Hardware Report**

***IRCMS***

Print Date: 16/04/2017

*A \* denotes hardware items which have some level of FMECA information*

\* UIC 54-190-TG 1/9. Cambiavias  
Contra Aguja Recta  
Caballetes  
UIC 54 Riel

#### 4.15.13 Memo Report.

Contiene la información de entrada en los diferentes campos de los modos de fallas, además de los memorando añadidos a la descripción del modo de falla.

Al dar click en la alternativa memo report, se abre una ventana en la cual se muestran las sistemas previamente ingresados. Al dar click en la máquina se activan las opciones de la parte derecha de la pantalla (Selection Criteria y Print Option), el

usuario tiene la oportunidad de escoger entre las siguientes opciones: imprimir, visualizar y/o exportar el reporte de la(s) maquina(s) seleccionada(s), finalizando esta operación dando click en OK. El usuario encontrará la misma ventana que fue mostrada en la alternativa FMECA. Pero el reporte es un informe de los memorandos que se han añadido a cada máquina con el fin de agilizar un futuro proceso de mantenimiento, así como las recomendaciones para el mantenimiento.

Esta opción de reporte nos entregara un formato como el que se muestra a continuación:

## **MEMO FIELD REPORT**

Print Date: 16/04/2017

***IRCMS***

---

**End Item:** UIC 54-190-TG 1/9. Cambiavias

**Failure Mode:** 01

Roptura intransitable de aguja curva

---

### **TAREA DE SERVICIO :**

Consiste en reponer el material faltante debido a una deformacion o perdida del mismo mediante un proceso de aporte con soldadura de arco electrico, tambien se puede realizar un esmerilado manual para remover el material sobrante y recuperar la geometria inicial de la aguja:

Cuadrilla de recargue: Conformada por tres personas: soldador calificado, conductor de vehiculo auxiliar y manio brista

### **TAREA DE MONITOREO DE CONDICION**

Consiste en inspecciones visuales que se realizan con frecuencia semanal para identificar grietas superfiviales y microfisuras, si se determina necesario se puede realizar inspeccion con liquidos penetrantes o con equipo de ultrasonido, en esta rutina tambien se realiza inspección con aparato calibre de agujas para verificar el paso de la pestaña por la aguja.

Inspeccion visual: Conformado minimo por dos personas, si se requiere aplicar liquidos penetrantes o inspeccion con equipos de ultrasonido se necesita personal pacacitado en estas tecnicas.

## 4.16 WINDOWS

Para navegar entre ventanas

**Cascade:** para alinear las ventanas abiertas en las posiciones por defecto.

## 4.17 HELP

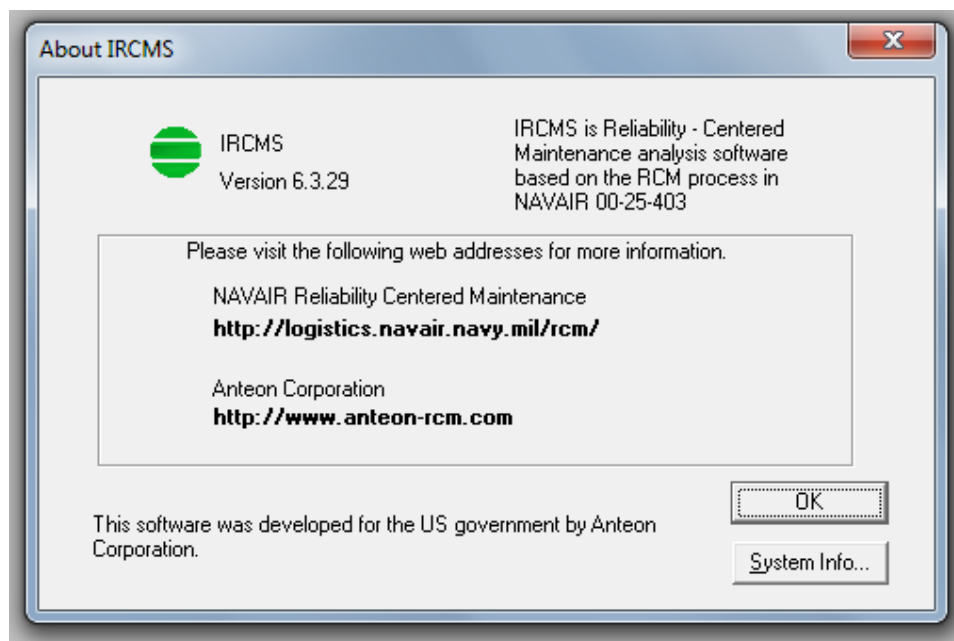
Es la ayuda que brinda la aplicación.

### 4.17.1 IRCMS Help.

Abre un manual de usuario.

### 4.17.2 About IRCMS.

Abre una ventana donde se puede ver información general acerca de la aplicación.



## 4.18 USO DEL SOFTWARE IRCMS 6– 3

A continuación se presenta el modo correcto de ingresar la información al software así como una descripción de cada uno de los parámetros que se deben llenar a lo largo del análisis de mantenimiento a través de IRCMS.

### 4.18.1 Hardware information.

Cuando agregamos un nuevo equipo para ingresar la información en el siguiente cuadro de dialogo, debemos entrar los datos de la manera correcta en la siguiente plantilla, para lo cual es necesario tener claro los siguientes conceptos.

The screenshot shows a dialog box titled "Item -" with a close button (X) in the top right corner. The dialog contains the following fields and controls:

- Item ID:
- Item Name:
- Item Description:
- Item ID Code:
- Number of Items in operation:
- Part Number:
- Item Design Life:
- Alternate Application:
- Status:
- Effectivity:
- Analyst:
- Approved by:
- Reviewed by:

At the bottom right of the dialog, there are four buttons: **Save**, **Continue**, **Cancel**, and **Memo**.

- *Levels of Indenture*, Niveles de Escritura: una descomposición del hardware es la división lógica de un elemento en elementos más pequeños que van reduciendo la complejidad. Cada nivel en este desglose de hardware es llamado

un nivel de escritura. Típicamente un equipo se identifica en un desglose de hardware desde lo más bajo a lo más alto, y lo componen sistemas, subsistemas, sub.– subsistemas o componentes. Todas estas etapas deben estar bien definidas para el equipo dado. La descomposición de hardware debe llevar al nivel más bajo en el cual el análisis sea inicialmente desarrollado.

Los analistas deben referirse al manual NA– 00– 25– 403, sección 2.3 para tener claro la forma correcta de completar esta información.

- *Adding an Item*, Agregar un Equipo: en el panel de Hardware Breakdown, escogemos el botón de la barra de herramientas *Add Item*, o click derecho y se selecciona *Add Item*.



- *Item ID*, Identificación del Equipo: consiste en un único código para la identificación de los equipos. Work Unit Codes (WUC), los códigos únicos de trabajo son los que se usan normalmente aquí.

WUC es un código que consta de 5 o 7 caracteres alfanuméricos, y es usado para identificar el sistema, subsistema o componente. El programa no está limitado solo a la nomenclatura del WUC, puede ser usada cualquier tipo de número (Ver NA– 00– 25– 403, página 29).

- *Item Name*, Nombre del Equipo: nombre descriptivo del equipo.
- *Item Description*, Descripción del Equipo: descripción breve del equipo, y sus funciones.

- *Part Number*, Numero de parte: número de identificación del elemento o serial.
- *Alternative Applications*, Aplicaciones Alternativas: código definido para distinguir entre un elemento de usos múltiples o individuales, por ejemplo diferenciar entre un componente usado en la parte derecha o izquierda del equipo final.
- *Effectivity*, Efectividad: identifica un grupo de elementos finales en los cuales es usado el equipo como funciones, fallas funcionales o modos de falla.
- *Analyst*, Analista: es la persona o funcionario que ingresa la información del sistema, equipo o componente, funciones o fallas funcionales, o si aparece en el resumen de empaquetamiento, el nombre indica el analista que realizó el ingreso de un modo de falla. Los analistas son seleccionados de la lista de usuarios de setup.
- *Approved By*, Aprobado Por: nombre de la persona o funcionario que aprueba el ingreso del equipo, la función o la falla funcional. Si está en el resumen de empaquetado, significa que fue la persona que aprobó el análisis para un particular modo de falla. Los usuarios que aprueban, son seleccionados de la lista de *Users* en el setup.
- *Reviewed By*, Revisado Por: es la persona o funcionario que reviso el equipo ingresado. El tratamiento es igual que la información anterior.
- *Number of Item in Operations*, Número De Equipos En Operación: es el número de elementos de hardware en operación o servicio actualmente. Este número debe ser el reflejo del nivel de hardware bajo análisis.

- *Item Design Life*, Estudio de vida del equipo: aquí se ingresa el estudio de vida útil del equipo, en un número por la unidad deseada.
- *Status*, Estado: la aplicación permite indicar el estado en el que se encuentra una función o una falla funcional. Las ventanas donde se ingresa la información tiene una celda para escoger el estado en el que se encuentra el equipo.
- *Approved*, Aprobado: los análisis están completos y han sido aprobados.
- *Awaiting Approval*, Esperando aprobación: análisis completos pero que están pendientes por aprobación.
- *In Process*, En Proceso: análisis en los cuales actualmente están en proceso de elaboración.
- *Needs Update*, Necesita Actualización: análisis que necesita revisión.

Desde el panel TO DO List de la ventana de trabajo del IRCMS, se puede ver rápidamente el estado de los diferentes equipos de hardware, función o falla funcional, así:

- **In work– en proceso, letra de color negro.**
- **Needs update– necesita actualización, letra de color rojo.**
- **Awaiting review– esperando revisión, letra de color azul.**

Los equipos, funciones o fallas funcionales en estado aprobado, no figuran en este panel.



- Memo: aparece una ventana de texto plano donde podemos incluir información que es relevante para el análisis. Una vez que información es ingresada en este campo, el color de la letra en el botón Memo, cambia de negro a azul, para indicar que hay información en este campo.

#### 4.18.2 Function Information.

En el momento de agregar una función, se debe diligenciar la siguiente plantilla:

Function - - 01

Item ID:

Function ID: 01

Function Description:

Functional Significance Determination

	Yes	No
1. Does loss of the function have an adverse effect on safety or environment?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2. Does loss of the function have an adverse effect on operations?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3. Does loss of the function have an adverse economical impact?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4. Is this function protected by an existing PM task?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Effectivity:

Analyst:

Status:

Approved by:

Reviewed by:

Print Save Continue Cancel Memo

- *Adding a Function*, Agregar una Función: después de agregar el elemento principal, vamos al panel de FMECA & RCM, y se escoge el elemento deseado,

luego hay 2 formas de agregar una función, con el botón de la barra de herramientas o con click derecho Add Func



- *Function ID*, Identificación de la Función: es un número de dos dígitos asignado a una función en particular, es único por ser asignado a la identificación del equipo (se le agregan dos dígitos al Ítem ID).
- *Function Description*, Descripción de la función: una función es el propósito o la intención para la que está diseñado el equipos y describe su nivel de rendimiento (eficiencia). una descripción completa de una función debe incluir los límites de desempeño específico, los análisis de funciones se referencian en NA– 00– 25– 403, sección 3.2
- *Functional Significance Determination*, Determinación de la importancia funcional: el proceso MCC proporciona un medio a través de decisiones lógicas para identificar cuáles son o no funciones significantes.

Una función Significante (SF), es aquella que sus fallas resultan en impactos adversos con respecto a la seguridad, el medio ambiente y las operaciones o los costos.

En la siguiente ventana se hacen una serie de preguntas para determina si se trata de una función significativa.

#### 4.18.3 *Functional failure information.*

Cuando se agrega una falla funcional aparece una ventana en la cual ingresamos la siguiente información:

Functional Failure - UIC 54-190-TG 1/9. - 01A

Item ID: UIC 54-190-TG 1/9.

Function ID: 01

Function Description:

Functional Failure ID:

Functional Failure Description:

Compensating Provisions:

Effectivity:

Analyst:  Status:

Approved by:

Reviewed by:

- *Add a Functional Failure*, Agregar una falla funcional: en el panel de FMECA & RCM, se escoge la función a la cual se le está ingresando la información, y en la barra de herramientas o con click derecho se escoge Add FF.



- *Functional Failure ID*, Identificador de la Falla Funcional: es un carácter alfanumérico que únicamente identifique la falla funcional. Su principal uso es llevar el orden de las FF.
- *Functional Failure Description*, Descripción de la Falla Funcional: es la inhabilidad de un elemento para desempeñar una tarea específica dentro de los límites específicos. Una falla funcional no necesariamente puede ser la perdida

completa de la función, la adecuada descripción de la Falla Funcional está basada en la descripción detallada de la Función que desempeña el elemento.

- *Compensating Provisions*, Disposiciones de Compensación: es la estructura de diseño o acciones de un operador para evitar o mitigar el efecto de una falla funcional. Estas precauciones pueden incluir acciones tales como respaldos, funciones redundantes, la seguridad, dispositivos de relevo, seleccionado de equipos para mitigar problemas (Como el cambio a un sistema secundario), sistemas de prevención o alerta, o sistemas indicadores.

El FMECA debe incluir una descripción detallada de las disposiciones de compensación para cada falla funcional si es que existen. Este campo es de gran importancia porque es usado para ayudar en la determinación de los efectos de falla, severidad y consecuencias.

#### 4.18.4 Failure Mode Information, información del modo de fallo.

Failure Mode - UIC 54-190-TG 1/9. - 01A01

Item ID: UIC 54-190-TG 1/9. Cambiavias FMI: 01 - A - 01 Rev: ☐

Failure Mode Description:

Local Effects:

Next Higher Effects:

End Effects:

Detection Method:

Severity Class:  Item ID code of failed item:

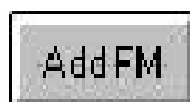
Effectivity:  Part No of failed item:  Operating Phase:

MTBF:

<b>Failure Mode*</b>	Failure Consequences	Service/Lube	On-condition
Hard-time	Failure Finding	Age Exploration	Other Action / No PM
Cost/Downtime Analysis	Package / Summary*	HRI Matrix	

Print Save Continue Cancel Memo

- *Add a Failure Mode*, Agregar un Modo de Falla: como en el caso anterior, los modos de falla se agregan en el panel FMECA & RCM de la ventana principal, de la misma forma que la FF.



- FMI– Failure Mode Indicator, Indicador de Modo de Falla: el indicador de modo de falla o FMI consta de tres elementos:
  - Un número de la función, o sea la función asociada a este modo de falla.
  - Una letra de falla funcional, es decir la falla funcional asociada a esta función.
  - Un número de dos dígitos.

Ejemplo: 01– A– 01, donde 01 identifica la función del equipo en particular, A significa que es la primera falla funcional del anterior y 01 primer modo de falla identificado

Ser cuidadoso a la hora de ingresar estos datos ya que la aplicación tiene la capacidad de asignar automáticamente los dos últimos dígitos del FMI, sin embargo el usuario puede modificarlo a su gusto, por lo que se podrían presentar duplicaciones.

- *Failure Mode Description*, Descripción del Modo de Falla: es una condición física específica que puede resultar en una falla funcional. La declaración del Modo de Falla debe incluir una descripción del mecanismo de fallo (por ejemplo, fatiga), siempre que esto sea posible.
- *Local Effects*, Efectos locales: la mayoría de los análisis FMECA identifica tres niveles de efectos de falla: local, próximo, elemento final. Estos tres niveles son suficientes para la mayoría de los análisis, pero se deben agregar o suprimir niveles cuando se considere necesario.

El efecto de falla es descrito como el impacto que una falla funcional tiene en un equipo bajo análisis, los elementos que actúan en la función y la capacidad del equipo. Un efecto de falla debe ser descrito en términos de daño físico, incluyendo los primarios y los secundarios que pueden ocurrir.

### Ejemplo: Descripción de un efecto de falla.

Failure Mode - UIC 54-190-TG 1/9. - 01B02

Item ID: UIC 54-190-TG 1/9. Cambiavias FMI: 01 - B - 02 Rev: ☐

Failure Mode Description:  
Continuidad en Junta Aislante

Local Effects:  
Falsa ocupacion en la via

Next Higher Effects:  
El sistema no permite el despacho automatico de los trenes, se autoriza marchar con velocidad reducida (menor a 40Km/h)

End Effects:  
Atrasos en el servicio comercial

Detection Method:  
Alarma de falsa ocupacion en la via se presenta en el puesto central de control PCC

- *Detection Method*, Método de Detección: la detección de la falla es el medio por el cual las fallas funcionales llegan a ser evidentes y como sus modos de falla son identificados por los operadores, estos se clasifican en dos categorías
  - 1) Los que son usados por el operador para detectar fallas funcionales o efectos de las fallas funcionales.
  - 2) Los que son empleados por el técnico de mantenimiento para determinar qué tipo de avería se produjo a causa de la falla funcional.

Los métodos utilizados por el operador para detectar fallas funcionales variaran de un modo de falla a otro modo, esto debido a los diferentes daños secundarios que pueden ser causados por cada modo de fallo.

Los métodos de detección para modos de falla usados por el operador incluyen señales de precaución visuales (luces, medidores, etc.), auditivas (bocinas, timbres) y efectos operativos (Vibraciones, humo, ruido, pérdida de control). Esta información es usada en el proceso de análisis RCM para determinar si el operador puede detectar la falla funcional mientras el equipo está operando en el desempeño normal de sus funciones.

- *Severity Class*, Clases de severidad: se trató en el numeral del setup.
- *MTBF, Mean Time Between Failures*, Promedio de tiempo entre fallas: es una medida básica de confiabilidad. Para el propósito de RCM, MTBF puede ser definido como el inverso de la tasa de falla de un modo de falla en particular durante un periodo específico, los valores MTBF listados en el FMECA deben ser claramente definidos para identificar sus fuentes y periodos ejecución, con fines tales como:
  - Análisis para anticipar modos de fallo.
  - Determinar intervalos de tareas de búsqueda de fallas.
  - Evaluar opciones costo/efectivas para tratar los modos de falla.
- *Part Number of failed item*, Número de pieza del elemento con falla.
- *Operating Phase*, Fase de Operación: es posible que algunas funciones, fallas o efectos, solo se producen de una manera diferente en cierto escenario de operación. El FMECA debe especificar claramente cuando las funciones, los modos de falla o los efectos son dependientes de circunstancias específicas, ambientes o fases de operación, las diferentes fases de operación se deben ingresar previamente o en el transcurso del estudio en el Setup, ya que para este ítem se muestra un menú desplegable.
- *Historical Revisions of Failures Modes*, Revisión Histórica de los Modos de Fallas: el software IRCMS proporciona la capacidad de editar y la forma de guardar información histórica cuando las revisiones de realizarse para el MCC. Si el análisis ha sido aprobado, y una revisión es innecesaria, la herramienta permite marcar el análisis actual como histórico y crear el análisis revisado así:
  - Se selecciona el modo de falla deseado
  - Se le da click izquierdo y se escoge *Mark As Historical*



La información antigua es guardada por el IRCMS y su estado cambia a *Historical*, inmediatamente aparece una copia de la información anterior y se abre para revisión.

El último segmento del FM debe ser modificado para indicar la revisión, si el modo de modo de falla 06– A– 01 es marcado histórico, el que queda en revisión actual debe ser 06– A– 01A.

- *Locking and Unlocking Failure Modes*, Bloquear y Desbloquear Modos de Falla: los modos de falla pueden ser bloqueados por usuarios con algunos permisos, pero solo el usuario que practicó la acción o el Signoff los pueden desbloquear.
- *Renumbering Failure Modes*, Renumerar los Modos de Falla; se puede renumerar los modos de fallo en la ventana FMECA, escogiendo la falla funcional, y con click derecho se elige Renumber Failure Modes.

#### 4.18.5 Opciones en la ventana del modo de falla.

##### 4.18.5.1 Failure consequences.

- *Evident*, Evidente: las fallas funcionales se pueden enmarcar en dos categorías: las que son evidentes para el personal o el operador, y las que son ocultas. para que una falla funcional sea clasificada como evidente, esta debe ser detectable por el operador.
- *Hidden*, Oculta: algunas funciones son normalmente inactivas, y solo llegan a activarse con la ocurrencia de petición de una acción.
- *Safety/Environmental*, Seguridad/Ambiental: es cuando la pérdida de la función o el daño secundario de un modo de fallo en particular tienen un efecto adverso en

la seguridad de la operación o produce una serie violación a las condiciones ambientales.

- Operational/Economic; Operacional/Económico: cuando la pérdida de la función o el daño secundario afectan estos campos.

#### 4.18.5.2 Service/lubrication task, Tareas de Servicio o de Lubricación

- *Task ID*, Identificación de tarea: es un único identificador de tarea, útil cuando un modo de fallo tiene más de una opción de tarea efectiva.
- *Task Description*, Descripción de la tarea: descripción de la tarea, identificar en esta opción el equipo al cual se le realiza el mantenimiento, que es lo que se está haciendo, condiciones específicas de búsqueda y medida.
- *Preliminary Task Interval*, Intervalo de tarea preliminar: es el intervalo que viene del análisis de los datos del modo de fallo.
- *Preliminary LOM*: es el nivel más bajo de mantenimiento que es requerido para desempeñar la tarea.
- *Packaged Task Interval*, Intervalo de tareas de empaquetado: es el intervalo que resulta de considerar todos los mantenimientos preventivos requeridos por un equipo, y escogiendo el mejor intervalo en el cual empaquetar y ejecutar las tareas.
- *Packaged LOM*: es el nivel de mantenimiento preventivo que se desarrollan en el intervalo de tareas de empaquetado requerido.

- *Task Man Hours*: horas hombre de la tarea, es la cantidad de horas que una persona requiere para desarrollar una tarea preventiva. En la mayoría de los casos estas no incluyen tiempos de reparación.
- *Task Material Cost*, Costo del Material para la Tarea: es el costo de los materiales necesarios para desarrollar una tarea preventiva. En la mayoría de los casos esto no incluye materiales requeridos para reparaciones.
- *Non– Recurring Cost*, Costos no recurrentes: cuando se realiza una tarea de mantenimiento, esta conlleva gastos de equipos de prueba, capacitación de personal, cambios en la documentación, el costo asociado a estos factores en que se considera para ingresar en este campo.
- *Elapsed Maintenance Time*, Tiempo de Mantenimiento Transcurrido: es el tiempo requerido para completar la tarea asumiendo todo el soporte necesario para hacerla posible. No incluye tiempos de espera debido a factores alternos.
- *Cost of One SL Task*, Costo de una Tarea de Servicio de Lubricación: es el costo de ejecutar una tarea de servicio o lubricación. IRCMS Proporciona el costo de las tareas basado en los datos ingresados en esta pestaña y en la de setup.
- *Task Accepted*, Tarea Aceptada: indica si esta tarea fue seleccionada o se empieza su proceso. Esta decisión es hecha en Package/Summary o en el *Cost Analysis* e indica si todas las opciones han sido consideradas. Si se acepta la tarea, en Project/Summary aparece un marcador abajo en la pantalla de la tarea individual.

#### 4.18.5.3 *On–Conditions task*, Tarea por Condición.

- *Potencial Failure Condition*, Condición de Falla potencial: es un nivel de degradación, específico y detectable. Un modo de falla puede presentar muchas características de degradación diferentes que pueden ser usadas para revelar una condición potencial de la falla.

Por ejemplo hay varios indicadores para el modo de falla desgaste, la cantidad de material perdido por el desgaste, intensidad de color asociada con el uso, etc.

- *Functional Failure Condition*, Condición de Falla Funcional: cuando una función deja de satisfacer su acción normal o característica, dentro de los límites aceptables especificados por el usuario, se dice que ha ocurrido una falla funcional.
- *Potential to Functional Failure (PF) Interval*, Intervalo de Condición Potencial a Falla Funcional: es el intervalo Tiempo/Edad que ocurre entre condiciones potenciales y fallas funcionales.

Ajustando las condiciones de falla potencial como el primer índice de detección de degradamiento se maximiza el intervalo para las tareas de condición. Definiendo las condiciones de una falla funcional. Para mejorar este intervalo PF, se puede programar revisiones más frecuentemente para tener mayor disponibilidad del activo. La condición de falla funcional que es definida, debe ser consistente con la técnica de detección de falla que está siendo usada.

Al decidir qué características usar como indicadores de la resistencia de la falla, se considera la longitud del intervalo PF, como la disponibilidad de los equipos de medida, y últimamente, el costo/efectividad como el resultado de las tareas condicionadas.

A menudo es útil hacer un intercambio en los análisis para determinar cuál es el enfoque más eficaz, cuando se consideran múltiples niveles como aceptables.

- Preliminary Initial Inspection, Inspección Inicial Preliminar: es el tiempo en el que un nuevo equipo puede permanecer en servicio antes de que el periodo de inspección sea desarrollado.
- Packaged Initial Inspection, Inspección Inicial del Empaquetado: es el tiempo de inspección inicial.
- Packaged LOM: es el nivel de mantenimiento que se desarrollara para acciones preventivas requeridas en el intervalo del empaquetado.
- MTBCA: tiempo promedio entre acciones correctivas (Potenciales y funcionales).
- Inspection Man hours: son las horas que requiere una persona para hacer una inspección o una tarea de este tipo. No incluye horas de reparación.
- Inspection Material Cost: costo de los materiales consumidos para desarrollar la tarea o la inspección. No incluye costos de reparación.
- Average Repair Cost, Costo Promedio de Reparación: costo asociado a una reparación de una falla potencial en un equipo, este costo podría incluir, costo por la mano de obra al nivel de mantenimiento y el costo de materiales para prevenir una falla funcional.
- Average Repair EMT: es el tiempo medio transcurrido para reparar una falla potencial suponiendo todos los recursos de apoyo necesarios. No incluye el tiempo de espera en las partes.

- Cost of One OC Task, Costo de una tarea de condición: costo de realizar un control sobre la tarea de inspección condición, que incluye el costo de materiales, mano de obra y demás consideraciones para la inspección, pero no incluye los costos de reparación.
- Average Repair Cost Of Potential Failure, Costo promedio de reparación de fallas potenciales: este costo debe incluir el costo promedio de reparación de todos los fallos (Potenciales y fallas funcionales). Se debe asegurar que los daños secundarios son incluidos, para las fallas evidentes y ocultas, incluir el costo de múltiples fallas en el costo de la falla funcional. Si el impacto operacional ha sido cuantificado en un costo, debe ser incluido también.

#### 4.18.6 Hard time tasks, Tareas de tiempo difícil.

- Wearout Age/Life Limit, Desgaste de Edad/Límite de Vida: el desgaste es descrito como el aumento en la probabilidad condicional de fallo con la edad según referencia NA- 00- 25- 403, sección 3.5.
- Percent Survive, Porcentaje de sobrevivir: es el porcentaje de unidades que sobreviven con el desgaste de la edad.
- K Factor: es el factor de fallo prematuro. Es la edad promedio de fallo prematuro por la edad como un porcentaje del intervalo de un tiempo de tarea difícil.

Por ejemplo, si la tarea difícil dura 100 horas, y el promedio de falla prematura ocurre a las 75 horas, k debería ser de 75%.

- Cost of One HT, Costo de una Tarea de Tiempo Difícil: es el costo para ejecutar una tarea de tiempo difícil = (Horas de la persona para la tarea)\*(costo por hora) + (Costo de los materiales)

- Functional Failure Cost, Costo de Una Falla Funcional: es el costo promedio de reparación si la tarea de tiempo difícil no está hecha y el equipo falla. Se deben incluir los daños secundarios, y para las fallas ocultas, el costo por múltiples daños. Si el impacto operacional se ha cuantificado en costos hay que incluirlo.

#### 4.18.7 Failure Finding Task, Tarea de Búsqueda de falla.

- Cost of One FF Inspection, Costo de Una Inspección de Búsqueda de Fallas: es el costo para desarrollar una búsqueda de fallas = (Horas de la persona para desempeñar la tarea)\*(Costo por hora) + (Costo de los materiales)
- Hidden Failure Repair Cost, Costo de reparación de fallas ocultas: es el costo promedio por la reparación del equipo por una falla oculta o por un daño hecho cuando falla un elemento. Este debe incluir el costo promedio por reparación de las fallas funcionales considerando las encontradas en la inspección y las que llegaron a ser evidentes por múltiples fallas no prevenidas en una tarea de falla funcional. Incluir el impacto operacional si este ha sido cuantificado.

#### 4.18.8 Age Exploration, Exploración por la edad.

- Task Interval, Intervalo de tarea: Es el intervalo de repetición en el cual cualquiera tarea se debe hacer.
- Initial Inspection, Inspección Inicial: Es el intervalo de tiempo antes que sea hecha la tarea de exploración por edad.
- Task Duration, Duración del Intervalo: Es la duración planeada de una tarea de exploración por la edad. La Tarea debe durar el tiempo que sea necesario para reunir suficientes datos para que se puedan tomar decisiones.

- LOM, Lowest Level of Maintenance: Es el nivel más bajo al cual puede hacerse una tarea de exploración.
- AE Priority, Prioridad de Una Exploración por Edad: es la prioridad dada a una tarea AE. Normalmente establecido en el campo de reglas y suposiciones del programa.
- AE Status, Estado de la Exploración por Edad: los siguientes estados son los seleccionables:

ESTADO DE LA EXPLORACION POR EDAD	
Planned	Planeado
In Process	En Proceso
Complete	Completo
Continuous	Continua

- Sample Quantity, Cantidad de muestras: número de elementos de muestra requeridos para obtener resultados representativos de la población en consideración. La cantidad de muestras debe ser determinada por métodos estáticos para asegurar que la recolección de datos es adecuada para representar exactamente la población entera. Por el contrario, las muestras deben ser tan pequeñas como sea posible para reducir costos e impacto operacional, mientras se mantiene el nivel de confianza deseado.

La cantidad de muestras son normalmente determinadas a través de técnicas de análisis estadísticos.

- Sample % of Fleet: porcentaje de los elementos que están siendo analizados en la muestra.



- Cost of One AE Inspection: costo de una inspección de exploración por edad.  

$$\text{Cost of One AE} = \text{Costo de desempeñar una tarea de exploración por edad} = (\text{Horas de la mano de obra}) * (\text{Costo por hora}) + \text{Costo de los materiales}.$$

#### 4.18.9 Other Action/ No PM.

- Description, Descripción: descripción en detalle de que otra acción está siendo implementada. Si se determina que un mantenimiento preventivo no es aceptable, porque no reduciría las consecuencias de falla a ese nivel, entonces otras acciones deben tomarse para tratar los problemas.

Opciones como el rediseño del equipo, la introducción de restricciones operacionales, o cambios en procedimientos de mantenimiento, pueden ser aplicados para mitigar el problema.

A veces, algunas otras acciones pueden ser convenientes, aun teniendo disponible una tarea de mantenimiento preventivo. Esto sería positivo si un retorno de lo aplicado puede ser demostrado en términos de, por ejemplo, mayor disponibilidad de los equipos, reducción de costos o una menor exposición a una situación peligrosa.

- Total Cost, Costo Total: es el costo de desarrollo y aplicación de las otras medidas durante un periodo determinado (Por lo general vida útil restante del programa).
- System Life Remaining, Sistema de Vida Útil Restante: puede ser un valor ingresado por defecto en el setup (como se explicó anteriormente) en la pestaña Default, o se puede entrar un nuevo valor en este campo.

- Life Cycle Cost, Costo del Ciclo de Vida: son ingresados en la pantalla de Análisis de Costo. Provee campos de entrada para que el usuario documente y guarde el ciclo del costo de vida producido por el uso de RCM.
- LCC Before RCM/ Update: el Costo del Ciclo de Vida antes de la actualización del RCM es entrado por el usuario y usado para calcular el costo del ciclo de vida en el IRCMS.
- LCC After RCM/ Update: el Costo del Ciclo de Vida después de la actualización del RCM es calculado usando el programa de vida restante multiplicado por el total por unidad de tiempo.
- LCC Savings: son calculados por comparación entre LCC Before RCM/Update y LCC After RCM/Update.
- Analysis Cost, Costo de Análisis: es el costo asociado con la realización del análisis, y es ingresado por el usuario.

No PM			
MTBF:	<input type="text" value="12960"/>	A - Operating Hours	
Average Repair Cost:	<input type="text" value="\$ 25.000,00"/>	Total Elapsed Maintenance Time:	<input type="text" value="1"/> (hours)
Life Cycle Costs			
System Life Remaining:	<input type="text" value="175200"/>	Stored Value	<input type="text" value="175200"/> in hours
		Calculated Value	
		LCC after RCM/update:	<input type="text" value="\$ 0,00"/>
		LCC before RCM/update:	<input type="text" value="\$ 500.000,00"/>
Analysis Cost:	<input type="text" value="\$ 2.000.000,00"/>	LCC Savings:	<input type="text" value="(\$ 1.500.000,00)"/>
<div> Hard-time Failure Finding Age Exploration Other Action / No PM* </div>			

#### 4.18.10 Cost/ Downtime Analysis.

- Task, Tarea: el área de tareas de análisis de costos permite al usuario identificar cual salida del análisis debe ser aceptada para el modo de falla (FM). Las salidas se seleccionan manualmente dando un click en la deseada y aparece una marca. Es posible tener más de una salida.
- No PM: la caja no PM permite al usuario identificar que no es mantenimiento preventivo para un modo de fallo
- Average Repair: es el costo de reparación de una falla funcional y daños secundarios. Para funciones ocultas, incluye el costo de múltiples fallas y el impacto operacional si es un costo cuantitativo.
- Other Action: permite a los usuarios seleccionar Otra Acción (Se realizó otra acción), como la salida la modo de falla.
- Valor Almacenado: la pantalla para análisis de costo/ tiempo de inactividad proporciona un lugar.

#### Pasos:

- 1) Selección de tareas: seleccione las tareas preventivas que deben ser comparadas usando las celdas vacías que están al lado izquierdo de la ventana.
- 2) Seleccione el intervalo que se va a usar en el cálculo, ya sea preliminar o empaquetado.

- Calculate on Interval: permite al usuario seleccionar si van a ser usados los intervalos preliminares o los empaquetados en el cálculo del costo por tiempo operacional.
- Total Cost Per Unit Op Time: es el total de tareas aceptadas u opciones. Se muestra en la pestaña de Cost Analysis en la pantalla del modo de falla.
- Total EMT (Elapsed Maintenance Time) Per Unit Op Time: es el tiempo total transcurrido de mantenimiento de todas las tareas aceptadas o las opciones. Se muestra en la pestaña de Cost Analysis en la pantalla del modo de falla.

Failure Mode - UIC 54-190-TG 1/9. - 01A01

Item ID: UIC 54-190-TG 1/9. Cambiavias FMI: 01 - A - 01 Rev:

Tasks	TaskID	Interval			Cost/Operating Hours		EMT/Operating Hours
<input checked="" type="checkbox"/> SL	0001	8760	A	Calc	\$ 32,31	Calc	0,0060
<input checked="" type="checkbox"/> OC	0002	168	A	Calc	\$ 755,84	Calc	1,0056
<input type="checkbox"/> HT				?	Missing data	?	Missing data
<input type="checkbox"/> FF				Calc		Calc	
<input type="checkbox"/> AE				?	Missing data	?	Missing data
<input type="checkbox"/> OA				?	Missing data	?	Missing data
<input type="checkbox"/> No PM				?	Missing data	?	Missing data
Total cost				?	Missing data	?	Missing data
Avg. Repair				?	Missing data	?	Missing data
Total Cost/Remaining Life				?	Missing data	?	Missing data

Calculate on Interval  
☐ Packaged  
☒ Preliminary

Total Cost Per Op Time:	Total EMT Per Op Time:
\$ 788,15	1,0116

#### 4.18.11 Package/ Summary Information.

- Incorp Status, Incorporación del estado: la selección de los estados de las categorías.
- Document, Documento: es un documento de mantenimiento en el cual se justifica la tarea de mantenimiento preventivo (PM), documentación–implementación. Los trabajos empaquetados son normalmente identificados por un número de documento o de publicación.
- Card/Wp (Card/Work Package), Tarjetas o Paquetes de Trabajo: las tarjetas de mantenimiento requerido (MRC) son identificadas normalmente por números. Los grupos de mantenimiento más grandes de MRC son agrupados normalmente en paquetes de trabajo.
- Item: elemento que justifica que en RCM la tarea de mantenimiento preventivo se realiza.
- Zone, Zona: zona en la cual se desarrolla la tarea. Los equipos complejos son comúnmente divididos en zonas de trabajo para permitir una identificación de las áreas o zonas de trabajo.
- Skill, Experiencia: nivel de experiencia requerido para desempeñar la tarea de RCM.
- Other Information, Información Adicional: la sección de información adicional de la pantalla Package Summary proporciona campos de entrada a los analistas.
- Summary Recommendation, Recomendaciones: las recomendaciones están disponibles en la pestaña Package/Summary de la ventana de modo de falla. Los analistas deben ingresar sus recomendaciones en esta área de texto y estas se mostraran en los reportes.

- **Linked Files, Archivos enlazados:** durante un análisis ciertos documentos pueden ser asociados al modo de falla. Esos documentos deben ser enlazados al modo de fallo a través de archivos enlazados al área de Package/Summary en la ventana de modo de fallo.
- **Approval Date, fecha de Aprobado:** en el campo de fecha de aprobación, el usuario ingresa la fecha en la cual fue aprobado un modo de fallo en particular.
- **Review Date:** muestra la fecha en que fue revisado el análisis.
- **Modified By, Modificador Por:** muestra el nombre de la última persona que modifico el análisis.
- **Modification Date, Fecha de Modificación:** muestra la fecha de cuando fue modificado el análisis por última vez.

Failure Mode - UIC 54-190-TG 1/9. - 01A01

Item ID: UIC 54-190-TG 1/9. Cambiavias FMI: 01 - A - 01 Rev:

PM Task Selection

	Task ID	Prelim Interval	Packaged Interval	Package	Incorp Status	Document	Card/W/P	Item	Zone	Skill
<input checked="" type="checkbox"/> SL	0001	8760 A	8760 A							
<input checked="" type="checkbox"/> OC	0002	168 A	168 A							
<input type="checkbox"/> HT										
<input type="checkbox"/> FF										
<input type="checkbox"/> AE										
<input type="checkbox"/> Other Action										
<input type="checkbox"/> No PM										

Summary Recommendation

Linked Files

Add New File Remove Linked File

Other Information

Analyst: Molina, Luis Fdo. Analysis Status: Approved

Approved by: Sergio A. Hoyos Approval Date: 15/04/2017

Reviewed by: Molina, Luis Fdo. Review Date: 10/04/2017

Modified by: Molina, Luis Fdo. Modification Date: 12/04/2017

Cost/Downtime Analysis\* Package / Summary\* HRI Matrix

- Equations Used in IRCMS, Ecuaciones usadas en la aplicación: a continuación se muestran las ecuaciones que se utilizan en la aplicación IRCMS; todas están referenciadas en el manual NA- 0025- 403.

Si se presenta alguna incongruencia del programa con la referencia, prevalece esta última.

Opción	Ecuaciones [Costo por unidad de tiempo operacional]
Service/Lubrication Task,	$SLOP = CSL / ISL$ <ul style="list-style-type: none"> <li><u>SLOP</u>: Servicio/Lubricación por unidad de tiempo</li> </ul>

Tareas de Servicio o de Lubricación	<p>operacional.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>CSL</u>: Costo de una tarea SL.</li> <li>• <u>ISL</u>: Uno de estos, Intervalo de tareas preliminares o intervalo de tareas empaquetadas.</li> </ul>
On- Conditions Task, Tarea por Condición.	$OCOP = ((COC / IOC) * (L - (II - IOC)) / L) + CR / MTBCA$ <ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>OCOP</u>: Tarea a condición por unidad de tiempo operacional.</li> <li>• <u>COC</u>: Costo de inspección (Costo de materiales, mano de obra, etc., pero no por reparación).</li> <li>• <u>L</u>: Diseño de vida del elemento.</li> <li>• <u>II</u>: Intervalo Inicial de Inspección.</li> <li>• <u>IOC</u>: Uno de estos, Intervalo de tareas preliminares o intervalo de tareas empaquetadas. El usuario selecciona cual intervalo usar en el cálculo.</li> <li>• <u>CR</u>: Costo Promedio de Reparación. Se incluyen las fallas potenciales y fallas funcionales.</li> </ul> <p>Nota: La gran mayoría de las acciones de reparación, deberían ser de las fallas potenciales si la inspección y el intervalo son seleccionados apropiadamente.</p> <p><u>MTBCA</u>: Tiempo promedio entre acciones correctivas</p>
Hard time tasks, Tareas de tiempo difícil.	$HTOP = [CHT (S) + CR (1 - S)] / [(S) IHT + (1 - S) K IHT]$ <ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>HTOP</u>: Tarea de tiempo difícil por unidad de tiempo operacional.</li> <li>• <u>CHT</u>: Costo de una tarea de tiempo difícil.</li> <li>• <u>S</u>: Porcentaje de sobrevivir. Porcentaje de que un equipo sobreviva al límite de tiempo difícil.</li> </ul>



	<ul style="list-style-type: none"> <li>• IHT: Uno de estos, Intervalo de tareas preliminares o intervalo de tareas empaquetadas. El usuario selecciona cual intervalo usar en el cálculo.</li> <li>• K: Factor de falla prematuro. Edad promedio de fallas prematuras como un porcentaje de IHT.</li> <li>• CR: Costo Promedio de Reparación. Se incluyen las fallas potenciales y fallas funcionales.</li> <li>• MTBCA: Tiempo promedio entre acciones correctivas</li> </ul>
Age Exploration. Edad de Exploración.	AEOP = Tarea de Exploración por edad por unidad de tiempo operacional. Desarrollo e implementación de amortización de costos durante programa de vida útil del equipo.
Other Action/ No PM.	<p>NOOP = CR / MTBF</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>NOOP</u>: No mantenimiento preventivo por unidad de tiempo operacional.</li> <li>• <u>CR</u>: Costo Promedio de Reparación. Se incluyen las fallas potenciales y fallas funcionales.</li> <li>• <u>MTBF</u>: Tiempo promedio entre fallas (Las tareas no son en el lugar del equipo).</li> </ul>
Otra Acción/Ningún Mantenimiento Programado	<p>OAOP = COA / LR</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>OAOP</u>: Costo de otra acción por unidad de tiempo operacional.</li> <li>• <u>COA</u>: Costo de otra acción. Costo total para desarrollar e implementar otra acción.</li> <li>• <u>LR</u>: Resto de vida del sistema</li> </ul>

#### 4.19 ANÁLISIS CONTRASTADO

Consiste en resaltar los aspectos más representativos del software y del cumplimiento de los pasos internacionales de la metodología RCM, a atreves de este análisis se

pretende entregar al usuario final criterios adicionales para un mayor entendimiento del proceso.

- El software IRCMS es relativamente fácil de usar, sin embargo la experiencia ha demostrado que una comprensión completa de sus características y capacidades se desarrolla mejor a través de una formación con otro usuario experimentado, o por medio de una formación formal disponible. IRCMS fue diseñado para ser muy abierto a los cambios de los procesos y por lo tanto no restringe el análisis con una lógica de decisión demasiado rígida, como resultado, se requiere una comprensión completa del proceso RCM que se utiliza para aplicar eficazmente IRCMS, dicho en otras palabras, para usar IRCMS se requiere entender RCM.
- No existe ninguna razón por la que IRCMS no pueda utilizarse con procesos de RCM que no cumplan estrictamente con los requisitos de SAE JA1011. IRCMS puede proporcionar un medio para explorar el proceso de RCM y proporcionar un marco de referencia para las capacidades disponibles en otros procesos y herramientas para aquellos que desean realizar implementaciones o análisis RCM.
- Un aspecto que es importante dejar claro acerca del IRCMS es que en ningún momento es, cumple o reemplaza funciones de un ERP<sup>16</sup> o un CMMS<sup>17</sup>.

El Sistema Integrado de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (IRCMS) se puede definir como un software diseñado con el fin de facilitar al análisis y documentación de procesos RCM, no registra operaciones ni actividades de mantenimiento, no lleva

---

<sup>16</sup> *Enterprise Resource Planning – Sistema de planificación de recursos empresariales.*

<sup>17</sup> *Computerized Maintenance Management System – Sistema de Información Integral de Gestión y Operación de Mantenimiento y Producción.*

historia, ni trabaja enlazado con otros módulos, no requiere licencias de funcionamiento, es de libre utilización y no representa costos de adquisición.

Los ERP o Sistemas de Planificación de Recursos Empresariales son programas de gestión global que integran y manejan muchos de los procesos internos asociados con las operaciones de una organización, típicamente trabajan por módulos, entre los más comunes se encuentran manufactura o producción, almacenamiento y logística, en estos se administra y se controlan operaciones como ventas, entregas, pagos, niveles de producción, administración de inventarios y la administración de recursos humanos.

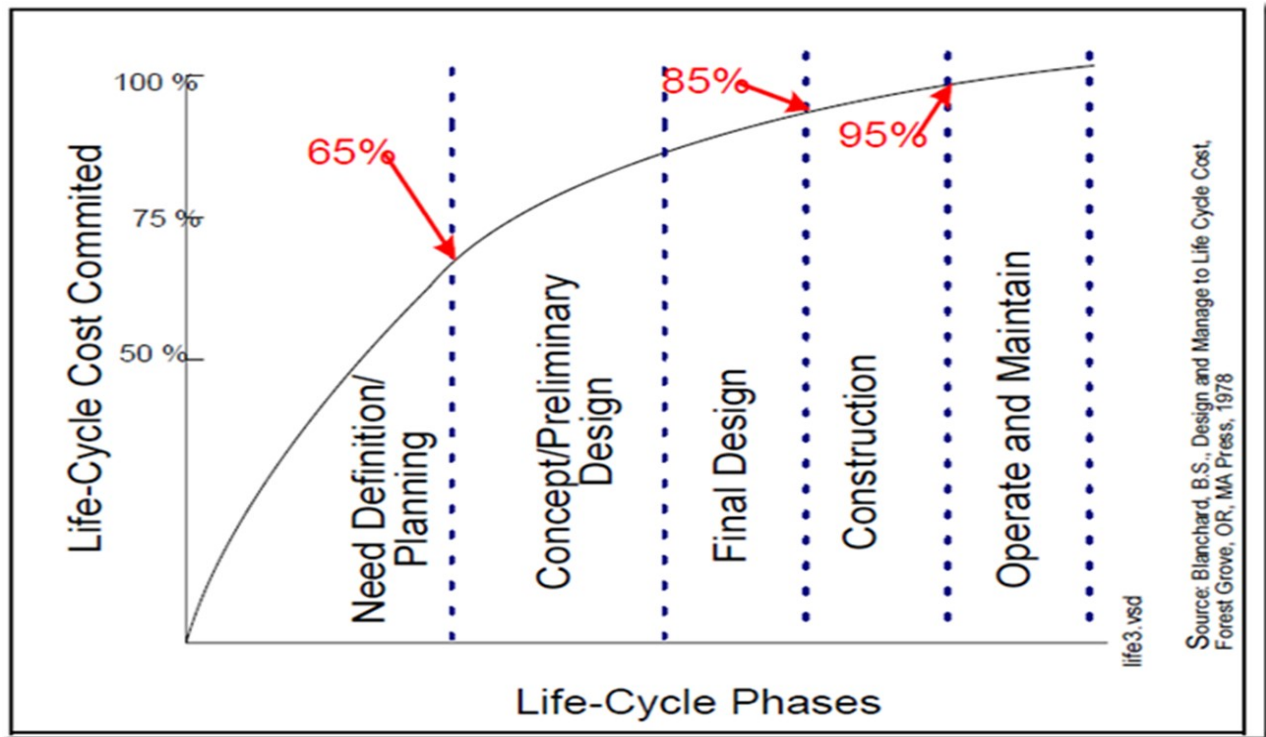
Los CMMS o programas para la Gestión de Mantenimiento Asistido por Computadora, son una herramienta de software que ayuda en la gestión de los servicios de mantenimiento de una empresa, básicamente es una base de datos que contiene información sobre los equipos y las operaciones técnicas que se ejecutan sobre los mismos, la administración de dicha información se emplea como herramienta de gestión para la toma de decisiones.

Tanto los ERP como los CMMS en la mayoría de los casos son programas que requieren la compra de licencias de funcionamiento, operan bajo servidores y tienen costos de mantenimiento e implementación altos.

- Una de las bondades que más se destacan del software IRCMS es la entrega de reportes, información técnica, valiosa y útil para la toma de decisiones, administrada por el sistema de manera rápida y bien estructurada, basada en datos asociados a los análisis de fallas, evaluación de tareas de mantenimiento e informes de costos.
- La aplicación de estrategias de optimización de costos y análisis LCC para un activo que apenas inicia su implementación IRCMS, garantiza bajo su correcto

desempeño los más bajos requerimientos económicos y minimiza las pérdidas asociadas al proceso operacional.

Ilustración 81 – Costos, RCM y ciclo de vida LCC.



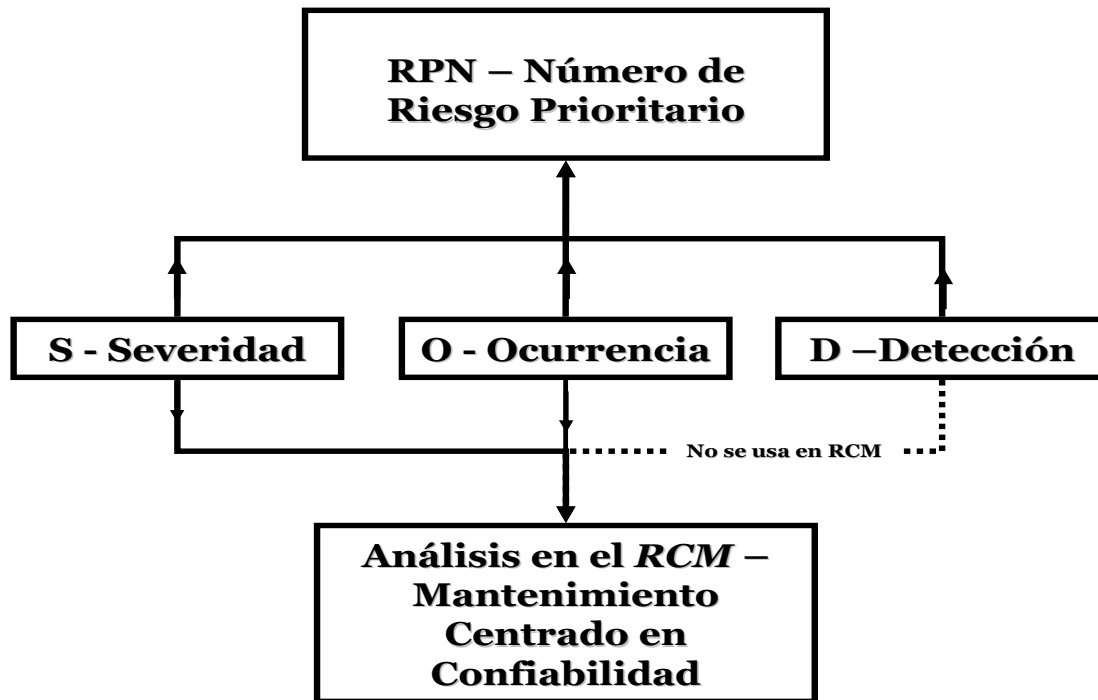
- Uno de los aspectos más importante en los análisis RCM es la valoración del riesgo, ya que este determina la prioridad de la acciones técnicas que se implementaran para minimizar o eliminar las consecuencias de los diferentes modos de falla, su cálculo se realiza mediante la siguiente ecuación con la cual se calcula el RPN<sup>18</sup>.

Ecuación 1 - Riesgo.

<sup>18</sup> Risk Priority Number – Numero de prioridad del riesgo.

$$RIESGO = SEVERIDAD \times OCURRENCIA \times DETECTABILIDAD$$

Ilustración 82 – Evaluación del riesgo RPN



(Mora, 2014)

Las consecuencias de las fallas se evalúan y se califican mediante la severidad de sus consecuencias y la probabilidad de su ocurrencia, para el caso del RCM solo se trabaja con Severidad y Ocurrencia ya que este proceso no incluye la variable Detección.

Ecuación 2 - Riesgos de RCM

$$RIESGO = SEVERIDAD \times OCURRENCIA$$

Para la evaluación de riesgos en procesos RCM existen a la luz de las normas internacionales dos métodos que son los más difundidos ALADON Y OREDA, para este análisis se resalta las casa ALADON ya que coincide con el proceso IRCMS, donde se valoran dos ejes acordes a una tabla cualitativa de Severidad y Ocurrencia.

Para la evaluación de la ocurrencia se utilizan valores numéricos, los cuales están establecidos entre rangos de intervalos por horas, debido a esta condición la calificación es de orden **CUANTITATIVO**, tal como se puede observar y redefinir en el Set Up del IRCMS.

Ilustración 83 – Evaluación de ocurrencia casa Aladon e IRCMS.

The screenshot shows the 'Setup' window with the 'Failure Frequencies' tab selected. The window contains the following elements:

- General Information:**
  - A Failure Frequency indicates how often a particular failure occurs.
  - Failure Frequencies are defined by the user to establish time intervals within which a failure may occur.
  - Failure frequency categories are required to create the Hazard Risk Matrix.
- Select a Failure Frequency:**
  - A list box containing: Probable, Frequent, Occasional, Remote, and Improbable (highlighted).
  - Buttons: <<< Add New Failure Frequency >>>
- Edit or Add Failure Frequency:**
  - Frequency Description: Improbable
  - One Occurrence Per: 100000
  - Units: A - Operating Hours (dropdown menu)
- Buttons:** Delete, Save, Continue, Print, Cancel.

Los rangos de las frecuencias se definen por horas entre los siguientes límites:

Ilustración 84 – Rangos para ocurrencias casa Aladon e IRCMS.

PROBABILIDAD DE OCURRENCIA	
Probable	0 - 10 horas
Frecuente	10 - 100 horas
Ocasional	100 - 1000 horas
Remoto	1000 - 10000 horas
Improbable	10000 - 100000 horas

Los criterios para evaluar la severidad categorizan el tipo de consecuencia, debido a esta descripción la evaluación se realiza con parámetros netamente **CUALITATIVOS**, tal como se puede observar en el Set Up del IRCMS.

Ilustración 85 – Evaluación de severidad casa Aladon e IRCMS.

The screenshot shows the 'Setup' window for IRCMS, with the 'Severity Classes' tab selected. The window contains the following elements:

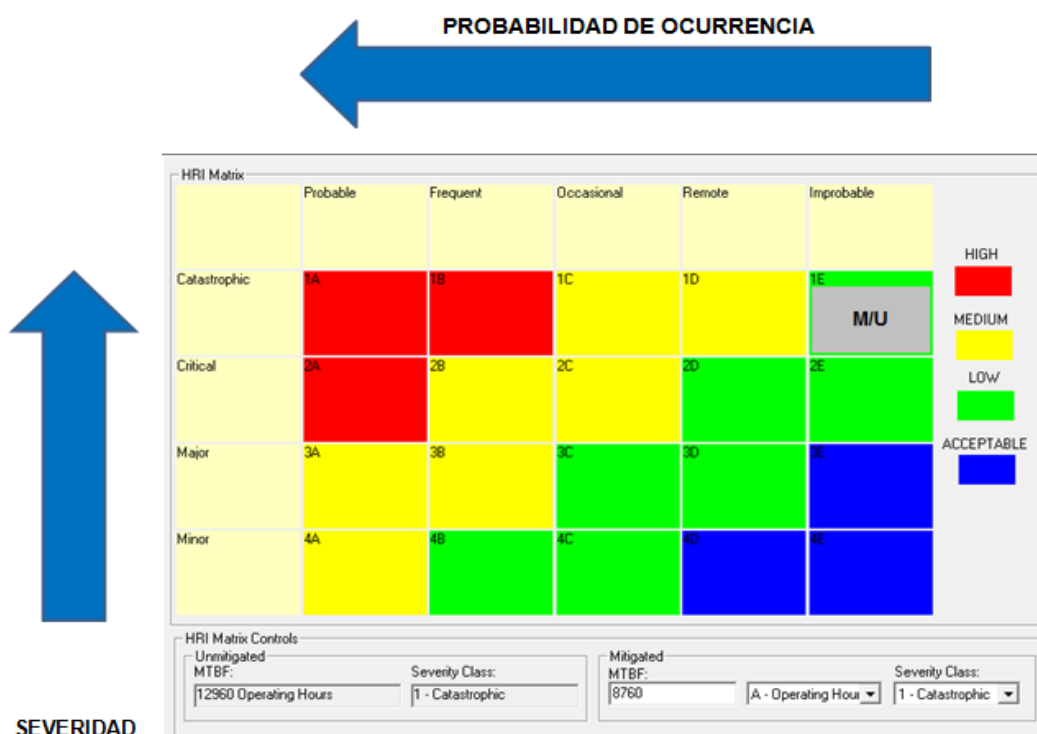
- Navigation Tabs:** General, Default, Level of Maintenance, Publications, Packages, Operating Phases, Users, CF (Operating Hour/Unit), **Severity Classes**, Failure Frequencies, HRI Matrix.
- Instructions:**
  - A Severity Class indicates the severity of the consequences should a particular failure occur.
  - Severity classes are defined by the user to categorize these various levels of severity.
  - The Severity Classes are required to create the Hazard Risk Matrix.
- Select a Severity Class:** A list box with the following items:
  - 1 Catastrophic (selected)
  - 2 Critical
  - 3 Major
  - 4 Minor
- Edit or Add Severity Class:**
  - Severity Class Description: Catastrophic
  - Priority: 1
  - Buttons: Higher, Lower
- Action Buttons:** Delete, Save, Continue, Print, Cancel.

Ilustración 86 – Categorías de severidad casa Aladon e IRCMS.

SEVERIDAD / PRIORIDAD	
Catastrófica	I
Critica	II
Mayor	III
Menor	IV

La combinación de ambos parámetros da la ubicación en el cuadro cualitativo de colores, este determina las prioridades según la relación entre severidad y ocurrencia, tal como se explica gráficamente en la siguiente figura.

Ilustración 87 – Cálculo para evaluación de riesgos casa ALADON e IRCMS.



**OCURRENCIA-CUANTITATIVA**

**SEVERIDAD-CUALITATIVA**



#### **4.20 CONCLUSIONES DEL CAPITULO 4**

- El manual del usuario final presente cada uno de los pasos a seguir para el completo diligenciamiento de la información que se requiere con el fin llevar a cabo y de manera correcta un análisis completo con el software IRCMS.
- Se puede concluir que es más fácil y ágil realizar un análisis RCM con la herramienta tecnológica IRCMS que de la manera tradicional aplicando el diagrama de decisiones RCM II, diligenciando de manera manual la hoja de decisiones y planteando las acciones técnicas.
- El software IRCMS entrega reportes prácticos de manera inmediata con información útil para análisis y toma de decisiones.
- Las aplicaciones con software IRCMS facilitan el proceso de auditoría, ya que todo la información del análisis esta soportada en el archivo base, el cual debido a su estructura agiliza la revisión, permite modificaciones y actualiza los resultados.
- El software IRCMS es un excelente planeador estratégico para la gestión de los activos, las acciones técnicas que resultan del análisis, son la base para la creación de los planes de mantenimiento en los CMMS donde se administra y evalúa la eficacia de estas rutinas.
- Con los conceptos prácticos expuestos en este manual más los conocimientos técnicos básicos en RCM se concluye que el usuario final esta en capacidad de realizar un análisis con el software IRCMS.

### **3. 5. CONCLUSIONES**

- El proceso NAVAIR RCM es totalmente compatible con todos los requisitos de la Norma JA-1011 de la Sociedad de Ingenieros Automotrices (SAE), Criterios de evaluación para procesos de mantenimiento centrado en fiabilidad (RCM).
- La táctica RCM y el software IRCMS pueden aplicarse de manera exitosa en equipos e instalaciones de diversas industrias alcanzando estándares de confiabilidad muy altos con bajos costos de implementación, esto independientemente de los marcos de referencia y niveles de exigencia del sector.
- Con la aplicación del RCM a través de la implementación del software IRCMS se gestionan de manera más eficiente y ágil los procesos para mejorar la confiabilidad de los equipos lo cual representa una ventaja competitiva ya que en muy poco tiempo se pueden evidenciar resultados positivos.
- Con la implementación RCM no solo se obtienen beneficios económicos y aumentos en la confiabilidad de la planta, sino que también se desarrolla en la organización una dinámica distinta con un mejor ambiente de trabajo conformado por personal más crítico, más comprometido y mejor capacitado.
- Se puede concluir que el IRCMS puede utilizarse como una herramienta tecnológica para facilitar el análisis y la planeación de estrategias de mantenimiento con el fin de mejorar la confiabilidad de los equipos.
- El software IRCMS puede utilizarse inicialmente en un equipo piloto con el objetivo de mostrarle a la organización las ventajas y los resultados de la implementación, esto con el fin de conseguir el apoyo de la gerencia para desarrollar un proceso RCM con un alcance mucho mayor.

#### 4. BIBLIOGRAFÍA

*A situational maintenance model.* **Riis, Jens O., Luxhøj, James T. y Thorsteinsson, Uffe. 1997.** Issue 4, Bradford - England : MCB UP Ltd, 1997, International Journal of Quality & Reliability Management, Vol. 14, pág. 349 a 366. Estudio EUREKA. ISSN 0265-671X.

**AMEF@. 2005.** Análisis de Fallas. *GestioPolis*. [En línea] Libre, 2005. <http://www.gestiopolis.com/recursos/documentos/fulldocs/ger/amef.htm>.

**Barlow, Richard E y Proschan, Frank. 1996.** *Mathematical Theory of Reliability*. New York : John Wiley & Sons, Inc, 1996. ISBN 0898713692.

**Barringer@, H. Paul. 2005.** Availability, Reliability, Maintainability, and Capability. *Availability, Reliability, Maintainability, and Capability*. [En línea] 2005. [Citado el: 11 de Noviembre de 2008.] <http://www.barringer1.com/lcc.htm>.

**Bazovsky, Igor. 2004.** *Reliability Theory and Practice*. s.l. : Edit. Dover Publications Incorporated, 2004. pág. 304 . ISBN: 0486438678..

**Bertalanffy, Ludwing von. 1994.** *Teoría General de los Sistemas*. Bogotá : Fondo de Cultura Económica Limitada, 1994. pág. 311. ISBN: 958-38-0011-2.

**Bleazard, Dirk, Hepler, Don y Dearman, Larry. 1998.** *Equipment reliability improved at Barrick Goldstrike*. s.l. : Review Mining Engineering, 1998. Vol. 50. ISSN 0026-5187.

**Connection, Acquisition Community. 2014.** *Acquisition Community Connection*. [En línea] Defense Acquisition University, 18 de Febrero de 2014. [Citado el: 17 de Agosto de 2016.] <https://acc.dau.mil/CommunityBrowser.aspx?id=530600>.

*D.G.S. Maintenance Internacional - Presidente de la Asociación Belga de Mantenimiento – Trends in Maintenance Management in Europe - Artículo Ponencia - Simposio Internacional de Ingeniería de Fábricas.* **De Groote, Patrick. 1994.** Medellín - Colombia : Universidad EAFIT - Medellín Colombia, 1994. Congreso Internacional de Ingeniería Mecánica y Mantenimiento. Email [patrick.degroote@be.vitalo.net](mailto:patrick.degroote@be.vitalo.net) Cell: +32(0)495 77.77.76 Phone: +32(0)51 48.00.11.

**Diagnetics@. 1998..** What is Proactive Maintenance? [En línea] 1998. <http://www.maintenanceresources.com/ReferenceLibrary/OilAnalysis/oa-what.htm>.

**Díaz, Matalobos - Ángel. 1992.** *Confiabilidad en mantenimiento*. Caracas : Ediciones IESA, C.A., 1992. pág. 110. ISBN: 980-271-068-2.

**Ebeling, Charles E. 2005.** *An Introduction to Reliability and Maintainability Engineering*. [ed.] Inc. Waveland Press. New York City : McGraw-Hill Science - Engineering - Math, 2005. pág. 576. ISBN: 1577663861.

**Ellis@, Herman. 1999.** Principles of the Transformation of the Maintenance Function to World-Class Standards of Performance. [En línea] 1999. <http://www.maintenanceresources.com/ReferenceLibrary/ezone/principles.htm>.

**Energía. 2013.** Reguladores de Energía Eléctrica. *Controles*. [En línea] 30 de 09 de 2013. [Citado el: 30 de 09 de 2013.] [https://www.google.com.co/search?q=reguladores+de+energ%C3%ADa&source=lnms&sa=X&ei=ymRIUqiPHI3Q9ASZ0IGgBg&ved=0CAgQ\\_AUoAA&biw=1366&bih=624&dp r=1](https://www.google.com.co/search?q=reguladores+de+energ%C3%ADa&source=lnms&sa=X&ei=ymRIUqiPHI3Q9ASZ0IGgBg&ved=0CAgQ_AUoAA&biw=1366&bih=624&dp r=1).

**ESReDa. 2001.** *ESReDa Handook on Maintenance management*. [ed.] Reliability & Data ESReDa - European Safety. Primera de 2001. Hevik - Norway : DET NORSKE VERITAS - ESReDa, 2001. pág. 255. Vol. Uno, Idioma Español. ISBN: 82-515-02705.

**ESReDa-Industrial. 1998.** *Industrial Application of Strutural Realibility Theory*. [ed.] P. Thoft-Christensen - Det Norske Veritas DNV. ESReDa - European Safety, reliability and Data. Hovik : ESReDa Working Group Report, 1998. pág. 283. Vol. ESReDa Safety Series No. 2. ISBN: 82-515-0233-0.

*Estadística aplicada a los Sistemas & Confiabilidad en los Sistemas.* **Forcadas, Jorge - Feliu. 1983.** 4, Medellín : Revista SAI - Revista SAI Sociedad Antioqueña de Ingenieros y Arquitectos – En: Revista SAI. No.4 Vol.1 – Medellín – Colombia - 1983, 1983, Vol. 1, pág. 41.

**Evans, D. W. 1975.** *Terotechnology - How can it work*. 1975.

**Gagné@, Robert y Bloom, Benjamín. 2008.** Taxonomía de los Objetivos educacionales y formativos de los seres humanos. *Modelos de procesamiento de la información de los humanos*. [En línea] [http://cmaps.conectate.gob.pa/servlet/SBReadResourceServlet?rid=1189491719498\\_981864839\\_519162&partName=htmltext](http://cmaps.conectate.gob.pa/servlet/SBReadResourceServlet?rid=1189491719498_981864839_519162&partName=htmltext), 21 de Septiembre de 2008. [Citado el: 21 de Septiembre de 2008.] Se conoce como la escala de niveles de objetivos de Bloom, Barret y Gagné. <http://www.scribd.com/doc/408060/Robert-Gagne>.

**González, Francisco Javier - Fernández. 2004.** *Auditoría del manetenimiento e indicadores de gestión*. [ed.] S.A. ARTEGRAF. Primera. Madrid : Fundación CONFEMETAL, 2004. pág. 260. ISBN: 84-96169-36-7.

**Harris, Gray W. 1994.** *Living with Murphy's law - Research-Technology Management*. USA : s.n., 1994. págs. 10-13. Vols. Vol.37,Iss.1 .

*Herramientas para la estimación de la demanda futura de repuestos de mantenimiento tipo Pull.* **Mora, Alberto - Gutiérrez. 2012a.** [ed.] UPADI - Unión Panamericana de Ingeniería. La Habana - Cuba : UPADI, 2012a. XXIII Convención Panamericana de Ingeniería. pág. 7. Ponencia escrita y sustentada en Congreso.

**Hiatt, Bruce. 2000.** A 13 Step Program in Establishing a World Class Maintenance Organization -. *Best Practices Maintenance USA.* [En línea] 2000. [Citado el: 20 de Octubre de 2008.] Email: bhiatt@anesta.com, bhiatt4419@aol.com. <http://www.tpmonline.com/articles/management/13steps.htm>.

**Hughes@, Howard. 2008.** Biografía de Howard Hughes. *Biografía de Howard Hughes.* [En línea] Libre, 2008. [Citado el: 20 de Octubre de 2008.] <http://www.spartacus.schoolnet.co.uk/JFKhughesH.htm>.

**Husband, Tom M. 1976.** *Maintenance Management and Terotechnology.* [ed.] Saxon House. New York : Ashgate Publishing, Limited -, 1976. ISBN 0566-00146-2.

**Idhammar@, Torbjorn. 1999.** - A New Preventive Maintenance Implementation and Training Concept -. [En línea] Libre, 1999. [Citado el: 20 de Octubre de 2000.] [http://maintenanceworld.com/Articles/reliability\\_jump\\_start.htm](http://maintenanceworld.com/Articles/reliability_jump_start.htm).

**IMM@. 2016.** The Institute of Asset Management. [En línea] 28 de 03 de 2016. [Citado el: 28 de 03 de 2016.] <https://theiam.org/>.

*Improvingt Equipment Reliability at Plant Efficiency through PM Optimisation at Kewaunee Nuclear power Plant.* **Johnson, L. P. 1995.** [ed.] The Society for Maintenance & Reliability Professionals (SMRP) -. Chicago - Illinois - Estados Unidos de América : s.n., Octubre de 1995, SMRP 3rd Annual Conference.

*Inventarios Cero - MTS MTO MTF.* **Mora, Alberto - Gutiérrez. 2013.** Lima - Perú : IPEMAN, 2013. Congreso XII Internacional Ingeniería de Mantenimiento IPEMAN. Lima - Perú - Octubre 17 al 19 -.

**iRCM Software, iRCM. 2016.** Software iRCM de RCM. New York, New York, USA : s.n., 30 de 07 de 2016.

**Jones, Richard. 1995.** *Risk Based Management: A realibility – Centered Approach - Gulf Publishing Company.* Houston : Gulf Professional Publishing, 1995. pág. 282. ISBN-10 0884157857, ISBN-13 978-0884157854 .

**Kapur, Kailash C. y Lamberson, Leonard R. 1977.** *Reliability in engineering design.* [ed.] Detroit, MI (USA). Dept. of Industrial Engineering and Operations Research Wayne State Univ. Primera. Detroit USA : John Wiley and Sons, Inc.,New York, 1977. pág.

606. Org Wayne State Univ., Detroit, MI (USA). Dept. of Industrial Engineering and Operations Research. ISBN-13: 978-0-471-51191-5.

**Kececioglu, Dimitri. 1995.** *Maintainability, Availability, & Operational Readiness Engineering*. New Jersey City : Editorial Prentice-Hall Professional Technical, 1995. ISBN: 0135736277.

**Kelly, Anthony y Harris, M. J. 1998.** *Gestión del Mantenimiento Industrial*. [ed.] S.A. Gráficas Mar-Car. Madrid : Fundación REPSOL Publicaciones e Impreso en Gráficas del Mar – Traducido por Gerardo Álvarez Cuervo y equipo de trabajo, 1998. pág. 218. ISBN: 84-923506-0-1 – T.

**Klusman, Robert A. 1995.** *Establishing Proactive Maintenance Management – Review Journal - Water / Engineering & Management*. USA : s.n., 1995. págs. 18 - 20.

**Knezevic, Jezdimir. 1996.** *Mantenibilidad*. Madrid : Editorial ISDEFE, 1996. ISBN: 84-89338-08-6.

**Knezevic, Otro - Lorenz. 2010.** *Weibull avanzado*. Varsovia : s.n., 2010.

**Langan, George. 1995.** *Maintenance automation – Review I.I.E. Solutions*. USA : s.n., 1995. págs. 14-17. Vol. Volumen 27.

**Leemis, Lawrence M. 1995.** *Reliability: Probabilistic Models and Statistical Methods*. New Jersey City : Editorial Prentice Hall International Series in Industrial and Systems Engineering, 1995. ISBN: 0-13-720517-1.

**Lewis, Elmer E. 1995.** *Introduction to Reliability Engineering*. Segunda. s.l. : Editorial John Wiley & Sons, Inc, 1995. pág. 435. ISBN: 0471018333.

*Maintenance management – an AHP application for centralization/decentralization.*

**HajShirmohammad, Ali y Wedley, William C. 2004.** ISSN 1355-2511, Bradford - England : Emerald Group Publishing Limited, 2004, Journal of Quality in Maintenance Engineering, Vol. 10, pág. 16 a 25.

*Management aspects of Terotechnology – Conference de la British Steel Corporation.*

**Darnell, H y Smith, M. 1975.** [ed.] British Steel Corporation. London - England : s.n., 1975. Vol. Número 185.

**Mather, Daryl. 2005.** *The Maintenance Scorecard - Creating Strategic Advantage*. [ed.] John Carleo. New York : Industrial Press, Inc., 2005. pág. 257.

**Mendoza, Daniel Amador. 2016.** I-RCM, Una Nueva Perspectiva. <http://www.wal-eng.com/>. [En línea] 1 de 10 de 2016. <http://wal-eng.com/descargables/IRCM%20Una%20Nueva%20perspectiva%20V.2.0.pdf>.

**Modarres, Mohammed. 1993.** *What Every Engineer Should Know About Reliability and Risk Analysis*. New York City : Editorial Marcel Dekker, 1993. pág. 351. ISBN: 082478958X.

**Moore@, Ron - Rath, Ron. 2008.** Fiabilidad, Mantenibilidad y Mantenimiento Proactivo. *La combinación de TPM y RCM. Estudio de un caso práctico*. [En línea] Libre, 2008. [Citado el: 20 de Octubre de 2008.] [www.alcion.es/Download/ArticulosPDF/gai/gratis/04articulo.pdf](http://www.alcion.es/Download/ArticulosPDF/gai/gratis/04articulo.pdf) .

**Mora, Alberto - Gutiérrez. 2016.** *Inventarios Cero*. Primera. Bogotá : AlfaOmega Editores Internacionales, 2016. pág. 305. ISBN 978-958-778-069-7.

—. **2007b.** *Mantenimiento Estratégico Empresarial*. Primera. Medellín : Fondo Editorial FONEFIT, 2007b. pág. 345. ISBN 978-958-8281-46-9.

—. **2007a.** *Mantenimiento Estratégico para empresas industriales o de servicios*. Segunda. Envigado : AMG, 2007a. pág. 306. ISBN 978-958-3382185.

—. **2014.** *Mantenimiento Industrial Efectivo*. Tercera. Medellín : COLDI Limitada, 2014. pág. 348. ISBN 978-958-98902-0-2.

—. **2012.** *Mantenimiento Industrial Efectivo*. Segunda. Antioquia : COLDI Limitada, 2012. pág. xxx. Mantenimiento. ISBN 978-958-98902-0-2.

—. **2013.** *Mantenimiento Planeación Ejecución y Control*. Bogotá : AlfaOmega Editores Internacionales, 2013. pág. 380. ISBN 978-958-6 82-769.

—. **1999.** *Selección y jerarquización de las variables importantes para la gestión de mantenimiento en empresas usuarias o generadoras de tecnologías avanzadas*. Organización de Empresas, Universidad Politécnica de Valencia. Valencia : s.n., 1999. Tesis de doctorado - Ph.D. en Ingeniería Industrial Cum Laude.

—. **2013.** Tópicos de Ingeniería de Fábricas. *Especialización en Mantenimiento Industrial*. Medellín - Universidad EAFIT, 14 de 09 de 2013. Email Luis Alberto Mora [cimpro@usa.com](mailto:cimpro@usa.com) [lmora@eafit.edu.co](mailto:lmora@eafit.edu.co) .

**Motoreléctrico@. 2016.** Motores eléctricos. *Partes de motores eléctricos*. [En línea] 20 de 10 de 2016. [Citado el: 20 de 10 de 2016.] <https://sites.google.com/site/279motoreselectricos/partes-fundamentales-de-un-motor-electrico>.

**Moubray, John Mitchell. 2004.** *RCM Reliability Centered Maintenance - Industrial Press Inc.* [ed.] Guilford and Rob Lockhart Biddles Limited. [trad.] Sueiro y Asociados - Argentina Ellman. Primera en castellano. Leicestershire : Aladon Limited, 2004. pág. 433. ISBN 09539603-2-3.

**Moubray@. 2001.** John. About RCM. *Aladon inglaterra*. [En línea] Libre, 2001. [Citado el: 19 de Diciembre de 2008.] <http://www.aladon.co.uk/02rcm.htm>.

**Nachlas, Joel. 1995.** *Fiabilidad*. Madrid : ISDEFE, 1995. ISBN: 84-89338-07-8.

**Nakajima, Seiichi, y otros. 1991.** *Introducción al TPM Programa Para El Desarrollo*. [trad.] Traducido por Antonio Cuesta Alvarez. Madrid : Editorial Fundación REPSOL Publicaciones e Impreso en Gráficas del Mar, 1991. ISBN: 84-87022-81-2.

**Nakajima5S@. 2005.** Total Productive Maintenance. [En línea] 2005. [http://iswww.bwl.uni-mannheim.de/Lehre/veranstaltungen/pm/Uebung/Nakajima\\_III\\_TPM](http://iswww.bwl.uni-mannheim.de/Lehre/veranstaltungen/pm/Uebung/Nakajima_III_TPM).

**NAVAIR. 1996.** *Directrices para la Aviación Naval en el Proceso del Mantenimiento Basado en la Confiabilidad*. 1996.

**Navarro, Luis - Elola, Pastor, Ana Clara - Tejedor y Mugaburu, Jaime Miguel - Lacabrera. 1997.** *Gestión Integral del Mantenimiento*. [ed.] S.A. Vanguard Grafic. Primera. Barcelona : Editores Marcombo Boixerau, 1997. pág. 112. ISBN 978-84-267-11212.

**Newbrough, E.T. y Ramond, Ramond - Personal de. 1982.** *Administración del Mantenimiento Industrial*. Sexta. Mexico Df : Diana, 1982. pág. 414. Título en inglés Effective Maintenance Management. ISBN 968-13-0666-x.

**NS@. 2005.** Nist/Sematech - E-Handbook of Statistical Methods. [En línea] September de 2005. [Citado el: 29 de Abril de 2003.] <Http://www.itl.nist.gov/div898/handbook/>.

**O'Connor, Patrick D.T. 2002.** *Practical Reliability Engineering*. Cuarta. Stevenage : Wiley - John Wiley & Son, 2002. pág. 540. ISBN: 0-470-84463-9.

**OIT, CIUO - 88 -. 1991.** *Clasificación Internacional de Ocupaciones*. Ginebra : OIT, 1991.

**OREDA. 1997.** Offshore Reliability Data Handbook. [En línea] 1997. [http://www.dnv.com/publications/oilgas\\_news/articles/newoffshorereliabilitydatahandbookoreda.asp](http://www.dnv.com/publications/oilgas_news/articles/newoffshorereliabilitydatahandbookoreda.asp) - 3rd. Det Norske Veritas – Sintef Industrial Management.

**—. 2002.** OREDA 2002 - Offshore Reliability Data. *OREDA Offshore Reliability Data*. Fourth - 2002. Trondheim : OREDA & DNV Veritas, 2002, pág. 835.

**PAS 55-2:2008, PAS. 2008.** *Gestión de Activos - Asset Management*. London - England : British Standard Institution, 2008. ISBN 978-0-9563934-2-5.



**PAS©55.2.2008. 2008.** *PAS 55 - 2 2008*. Londres : BSI British Standards Institution, 2008. pág. 57. Vol. Dos. ISBN 978-0-9563934-2-5.

**PAS55.1.2008, ©BSI PAS. 2008.** *Pas 55 - 1: 2008 Gestión de Activos - Asset Management*. Londres : British Standards Institution, 2008. pág. 24. ISBN 978-0-9563934-0-1.

**Patton, Joseph D. Jr. 1995.** *Preventive Maintenance –The International Society for Measurement and Control - Instrument Society of America*. 1995. Vol. Second Edition. ISBN 1-55617-533-7.

**Peterson, Brad. 1999.** To Centralized or decentralized maintenance, central issue. *Strategic Asset Management Inc. MT-Magazine de MT-Online - Perfiles de Ingeniería*. [En línea] 1999. <http://www.camicorp.com> Email bp0439@aol.com.

*Pronósticos de demanda e Inventarios - Métodos Futurísticos.* **Mora, Alberto - Gutiérrez. 2007c.** [ed.] Ultragráficas Ediciones. Medellín : AMG, Diciembre de 2007c. ISBN: 978-958-44-0233-2 .

**Ramakumar, Ramachandra. 1996.** *Engineering Reliability. Fundamentals and Applications*. New Jersey City : Editorial Prentice-Hall Professional Technical, 1996. pág. 482. ISBN: 0132767597.

*RCM and TPM complementary rather than conflicting techniques.* **Geraghty, Tony. 1996.** USA : s.n., Junio de 1996, Journal, Vol. 63. ISSN 0141-8602.

**RCMScorecard@. 2005.** Reliability Centered Maintenance (RCM) Scorecard. *RCM Scorecard*. [En línea] Libre, 9 de Marzo de 2005. <http://www.maintenance-news.com/cgi-script/CSUpload/CSUpload.cgi?database=Reliability%20Centered%20Maintenance%20Managers'%20Forum%20Downloads.db&command=viewupload&id=1>.

**Reed, Rudell Jr. 1971.** *Location, Layout y Mantenimiento de Planta* . [ed.] Pedro garcía S.A. [trad.] Juan G. Thomas. Buenos Aires : Editorial El Ateneo, 1971. pág. 222.

**Rey de Astaiza, Nelsa Beatriz. 1986.** *Diseño de currículos universitarios*. Bogotá : A.C.O.F.I., 1986. págs. 73-76.

**Rey, Sacristán Francisco. 2003.** *TPM - Mantenimiento Total de la Producción*. [ed.] Fundación Confemetal. Madrid : Fundación Confemetal, 2003. pág. 311. 9788495428493.

**Ricardo, David. 1817.** *On the principles of Political Economy and Taxation* . Inglaterra : Ayuso, 1817.

**Roberts@, Jack. 2008.** TPM Total Productive History and Basic Implementation. *TPM ON LINE*. [En línea] Libre, 2008. [Citado el: 20 de Octubre de 2008.] [www.tpmonline.com/article/tpm/tpmroberts.htm](http://www.tpmonline.com/article/tpm/tpmroberts.htm).

**Rocha, Gerardo Murillo. 2016.** Plan de Implantación General del RCM. *www.monografias.com*. [En línea] 1 de 10 de 2016. <http://www.monografias.com/trabajos10/implan/implan.shtml>.

**Rojas, Jaime - Arias. 1975.** *Introducción a la confiabilidad*. Bogotá : Universidad de los Andes, 1975. pág. 214.

**Savery@, Thomas. 2008.** Wikipedia. *Inventores del reibno Unido - Wikipediaq*. [En línea] 2008. [http://es.wikipedia.org/wiki/Thomas\\_Savery](http://es.wikipedia.org/wiki/Thomas_Savery).

**Selector. 2013.** 123RF. [En línea] Simple, 30 de 09 de 2013. [Citado el: 30 de 09 de 2013.] [http://es.123rf.com/photo\\_11430944\\_selectores-de-metal-vector.html](http://es.123rf.com/photo_11430944_selectores-de-metal-vector.html).

*Sistemas de Inventarios con pronósticos de Demanda de Múltiples Referencias.* **Mora, Alberto - Gutiérrez. 2010.** ISSN 1657-2432, Medellín : s.n., Cuarto Trimestre de 2010, Zona Logística.

**Smith, Anthony M. 1992.** *Reliability Centered Maintenance*. Primera. New York : McGraw Hill, Inc. School Education Group, 1992. ISBN 007059046X.

**Smith, Anthony M. y Hinchcliffe, Glenn R. 2003.** *RCM - Gateway to World Class Maintenance*. Primera. Burlington : Elsevier Butterworth-Heinemann, 2003. ISBN 0-7506-7461-X.

**Smith, Charles O. 1983.** *Introduction to Reliability in Design*. Malabar : Robert E. Krieger Publishing Company Krieger Publishing Company, 1983. ISBN: 0898745535.

**Smith, K. 1998.** *Modern concepts and methods in maintenance*. USA : s.n., 1998.

**Sotskov, B. 1972.** *Fundamentos de la Teoría del Cálculo de la Fiabilidad de Elementos y Dispositivos de Automatización y Técnica del Cálculo*. Moscú : Editorial MIR, 1972. pág. 264.

**Sourís, Jean-Paul. 1992.** *El mantenimiento: fuente de beneficios – traducido por Diorki, S.A. Madrid de la obra original La maintenance, source de profits*. [trad.] S.A. Madrid de la obra original La maintenance, source de profits Traducido por Diorki. Madrid : Ediciones Díaz de Santos, S.A., 1992. pág. 183. ISBN 84-7978-021-5.

**Stamatis, D. H. 1995.** *Failure Mode asnd Effect Analysis - FMEA from Theory to Execution*. [ed.] Inc. BookCrafters. Wisconsin : ASQC Quality Press, 1995. pág. 496. ISBN 0-87389-300-X.

**Statgraphics. 2016.** *Statgraphics*. Medellín, Antioquia, Colombia : s.n., 2016.

*Strategic Sourcing: To make or not To make - Fabricar o Subcontratar.* **Venkatessan, Ravi. 1992.** [ed.] HDBR. 6, Watertown, Massachusetts. U.S.A. - Español Barcelona eSPAÑA : HDBR, Noviembre - Diciembre de 1992, Harvard Deusto Business Review, Vol. 70, pág. 9. En español Revista No. 96 de 1992 - Volumen 52 paginas 52 - 62 del año 1993 - España Barcelona. ISSN 0210-900X.

**Tavares, Lourival Augusto - Calixto, Marco A. - Gonzaga, dos Santos, Paulo R. - P. y da Silva, João Esmeraldo. 2007.** *Gestión Estratégica en Activos de Mantenimiento*. [ed.] Marco Antonio Alcántara. Primera. Mérida : Ediciones Técnicas, 2007. pág. 180.

**Thompson, G. 1980.** *Engineering design and Terotechnology*. Manchester : Department of Mechanical Engineering – UMIST, 1980. March 8 - 1980. M601QD - U.M.I.S.T. .

*Trends and perspectives in industrial Maintenance management.* **Thorsteinsson, Uffe, Luxhojt, James T. y Riis, Jens O. 1997.** 6, 1997, Jopurnal of Manufacturing Systems, Vol. 16.

**Troféé@, Mario. 2006.** Análisis ISO 14224 OREDA - Relación con RCM - FMEA. *Mantenimiento Mundial*. [En línea] 30 de Mayo de 2006. [Citado el: 21 de Diciembre de 2008.]  
<http://www.mantenimientomundial.com/sites/mmnew/bib/notas/0605MarioTroffeISO14224.pdf>.

**Troyer@, Drew. 2001.** RCM and Oil Analysis. *Maintenance Resources*. [En línea] Libre, RCM and Oil Analysis - USA, Marzo de 2001. [Citado el: 19 de Diciembre de 2008.] <http://www.maintenanceresources.com/ReferenceLibrary/ezine/rcm.htm#up1> .  
<http://www.maintenanceresources.com/referencelibrary/ezine/rcm.htm>.

**Trujillo@, Gerardo. 1999b.** El Mantenimiento Proactivo como una herramienta para entender la vida de los equipos - Noria Latin America -. *Noria Latinoamérica*. [En línea] 1999b. E-mail: [lubecons@gto1.telmex.com.m](mailto:lubecons@gto1.telmex.com.mx).  
<http://www.noria.com/sp/recursos/aprendizaje/man6.asp>.

—. **1999a.** Implementación de un programa de Mantenimineto Proactivo - Noria Latin America. *Noria Latin América*. [En línea] Libre, 1999a. [Citado el: 20 de Octubre de 2008.] [lubecons@gto1.telmex.com.mx](mailto:lubecons@gto1.telmex.com.mx). [lubecons@gto1.telmex.com.mx](mailto:lubecons@gto1.telmex.com.mx).

**Tsuchiya, Seiji. 1995.** *Mantenimiento de Calidad: Cero Defectos a través de la gestión del equipo*. USA : Productivity Press Inc, 1995. págs. 2 - 4. ISBN 8487022162, ISBN - 13 9788487022166.

**U.S. Army. 1972.** *AMCP 706-134 Maintainability Guide for Design*. Washington : U. S. Government Printing Office, 1972. ISBN: AMCP 706-134.

**Uexcüll, J. Von. 1920.** *Umwelt und Innenwelt der tiere*. Segunda Edición. Berlín – Alemania : Referenciado por Bertalanffy,1994, 1920.

**US-NAVAIR. 2016.** Manual de Usuario IRCMS 6.3. [En línea] 2016.

**Weibull. 2016.** Software Weibull. 2016.

**White, E. N. 1975.** *Terotechnology - Physical Asset Management*. [ed.] Manchester. Inglaterra : s.n., 1975. Libro en Biblioteca de la Universidad EAFIT.

**Whorf, B. L. 1952.** *Collected Papers on Metalinguistic – Foreign Service Institute – Department of State*. Washington – USA : Referenciado por Bertalanffy,1994, 1952.

—. **1953.** *Language, Thought and reality: selected writings of B.L. Whorf – John Carroll, Ed. John Wiley & Sons*. Nueva York – USA : Referenciado por Bertalanffy,1994, 1953.

**Williams, Patrick,@. 2016.** Modelo de Diagnóstico Tridimensional. [En línea] 11 de 01 de 2016. [Citado el: 11 de 01 de 2016.] <http://es.scribd.com/doc/170796959/Modelo-Diagnostico-Tridimensional-de-Patrick-Williams#scribd>.

**Wilson, Paul F, Dell, Larry D y Anderson, Gaylor F. 1993.** *Root Cause Analysis: A Tool for Total Quality Management - American Society for Quality - AAQ*. Milwaukee : s.n., 1993. pág. 216. ISBN: 0-87389-163-5, ISBN-13: 978-0873891639 .

**Wireman, Terry. 2001.** *Word class maintenance management*. País Estados Unidos de América : Industrial Press, Inc., 2001. ISBN 0-8311-3025-3.

**Yamashina, Hajime. 1995.** *Japanese manufacturing strategy and the role of total productive maintenance TPM - Journal of Quality in Maintenance Engineering*. West Yorkshire : s.n., 1995. Vol. Volumen 1. ISSN: 1355-2511.